

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07270137 A**

(43) Date of publication of application: **20.10.95**

(51) Int. Cl

**G01B 11/24**  
**B25J 19/04**  
**G01B 11/00**  
**G01C 3/06**

(21) Application number: **06312401**

(71) Applicant: **FANUC LTD**

(22) Date of filing: **24.11.94**

(72) Inventor: **SAKAKIBARA SHINSUKE**  
**YAMADA SHIN**

(30) Priority: **10.02.94 JP 06 36390**

**(54) SPOT LIGHT SCAN TYPE THREE-DIMENSIONAL  
VISION SENSOR**

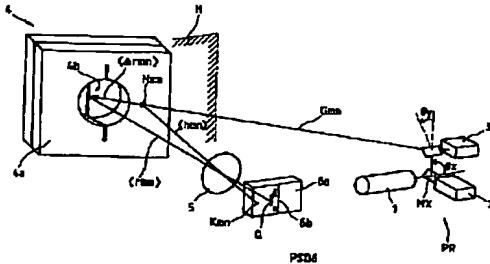
acquiring of a three-dimensional position data handily.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To enable efficient detection, in real time, of a feature part of the outline of a subject such as the rim part of a concave part or a convex part and an ridge line thereof with possible speeding up of processing time and excellent economy.

CONSTITUTION: Numeral 1 indicates a laser as a spot light source, 2 and 3 an X scanner and a Y scanner and these compose a projector of a spot light beam. The X scanner 2 and the Y scanner 3 are provided with deflection mirrors MX and MY respectively and a spot light beam G is projected toward the directions corresponding to angles x and y of the deflection thereof. A PSD 6 is arranged at a proper distance from the projector to detect a spot P formed on work 4 as subject through a lens thereof. An output of the PSD 6 and linear/quadratic differential data are obtained making the spot light beam G scan fast continuously. This enables the detection of the rim part of a concave part 4b together with the data indicating the direction of projecting the spot light beam G thereby allowing the



## 特開平7-270137

(43)公開日 平成7年(1995)10月20日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G01B 11/24		C		
B25J 19/04				
G01B 11/00		B		
		E		
G01C 3/06		A		

審査請求 未請求 請求項の数3 FD (全19頁)

(21)出願番号	特願平6-312401
(22)出願日	平成6年(1994)11月24日
(31)優先権主張番号	特願平6-36390
(32)優先日	平6(1994)2月10日
(33)優先権主張国	日本(JP)

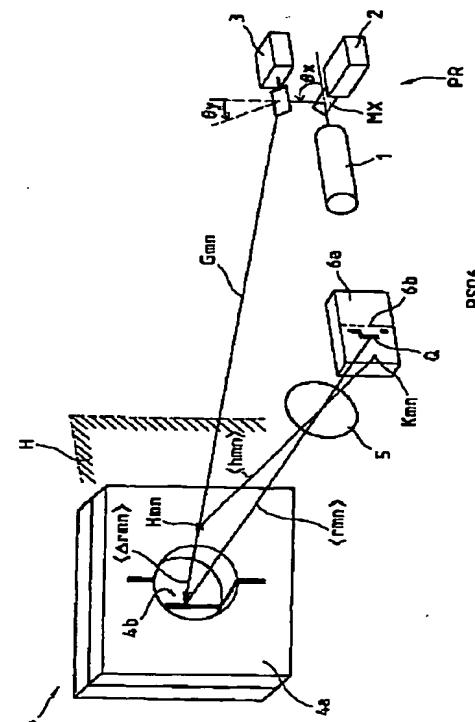
(71)出願人	390008235 ファナック株式会社 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358 0番地
(72)発明者	▲柳▼原 伸介 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358 0番地 ファナック株式会社内
(72)発明者	山田 優 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358 0番地 ファナック株式会社内
(74)代理人	弁理士 竹本 松司 (外4名)

## (54)【発明の名称】スポット光走査型3次元視覚センサ

## (57)【要約】

【目的】処理時間の高速化が可能で経済性にも優れ、被計測対象物の稜線部、凹部や凸部の縁部など被計測対象物の外形の特徴部分を実時間で効率的に検出し得る3次元視覚センサの提供。

【構成】1はスポット光光源としてのレーザ、2、3は各々Xスキャナ、Yスキャナであり、これらはスポット光ビームのプロジェクタを構成する。Xスキャナ2、Yスキャナ3は各々偏向ミラーMX、MYを備え、その偏向角 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ に応じた方向に向けてスポット光ビームGを投射する。PSD6はプロジェクタと適宜の距離において配置され、そのレンズ5を介して被計測対象物となるワーク4上に形成されるスポットPを検出する。スポット光ビームGを連続的に高速走査しながら、PSD6の出力、その1次/2次微分データを得れば、スポット光ビームGの投射方向を表わすデータと併せ、凹部4bの縁部の検出、その3次元位置データを簡便に取得することが出来る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 投射方向を 2 次元的にランダムスキャン制御し得るスポット光ビーム投射手段と、該スポット光ビームが被計測対象物に入射した位置に形成されるスポット状輝点を検出する 1 次元位置検出型光検出手段と、前記スポット光ビームの投射方向と前記位置検出型光検出手段の検出出力に基づいて前記被計測対象物上に形成された前記スポット状輝点の位置を決定する手段を備えたスポット光走査型 3 次元視覚センサ。

【請求項 2】 投射方向を 2 次元的にランダムスキャン制御し得るスポット光ビーム投射手段と、該スポット光ビームが被計測対象物に入射した位置に形成されるスポット状輝点を検出する 1 次元位置検出型光検出手段と、前記スポット光ビームの投射方向と前記 1 次元位置検出型光検出手段の検出出力に基づいて前記被計測対象物上に形成された前記スポット状輝点の位置を決定する手段と、

前記スポット光ビームの投射方向を連続的に変化させた時に得られる前記 1 次元位置検出型光検出手段の検出出力の変化に基づいて被計測対象物の外形特徴部を検出する手段を備えたスポット光走査型 3 次元視覚センサ。

【請求項 3】 計測プロセスの途上において、先行して取得された前記位置検出型検出器の検出出力に基づいてそれ以降の前記スポット光ビーム投射方向を変化させるように前記ランダムスキャン制御を行なわせる手段を更に備えた請求項 1 または請求項 2 に記載されたスポット光走査型 3 次元視覚センサ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えばロボットによる機械部品の組立作業のように、ロボットあるいは他の各種 F A 機器を用いて自動化作業を行う製造ライン等において使用される視覚センサに関し、更に詳しく言えば、スポット光走査ビームを被計測対象物に投射し、被計測対象物上に形成された輝点を 1 次元位置検出型の検出器 (P S D) で観測して被計測対象物の 3 次元的な位置、姿勢、形状等を計測 (以下、単に「3 次元計測」という。) する 3 次元視覚センサに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 産業用ロボット、各種 F A 機器を用いて各種作業を自動化するシステムを構築する場合や、知能ロボットのインテリジェント化を図る場合においては、視覚センサの果たす役割が大きい。特に、ロボットを含むシステムによる作業の自動化において、ワークの位置、姿勢、形状等の計測に視覚センサが多く用いられている。

【0003】 このような用途を有する視覚センサは、その機能によって、2 次元測定用のものと、3 次元測定用のものとに分けられるが、被計測対象物の 3 次元的な位置、姿勢、形状等を計測する必要がある場合には、後者

の 3 次元視覚センサが使用される。従来の 3 次元視覚センサは、一般に、ビデオカメラで捕捉された 2 次元画像上の点の 3 次元位置を定める為の手段を備えている。該手段として種々の型のものが提案されているが、その多くは三角測量の原理を応用したもので、中でもスリット状の光を対象物に所定の方向から投射し、対象物上に周辺よりも高輝度の光帯を形成させ、これをビデオカメラで観測して対象物の 3 次元計測を行なうものが代表的である。

10 【0004】 このようなスリット光投射方式の 3 次元視覚センサは、計測範囲が狭くなり易く、被計測対象物の存在位置にばらつきがある場合には、スリット光を走査する為の光学系が必要なことや、設定されたスリット光によって形成される光帯と平行な方向に延在するエッジ部分の計測を行なう為にはスリットの方向が互いに異なる 2 台の投光器とその制御機構を設ける必要が生じる等の問題があった。

【0005】 更に、従来技術においては、スリット光束を生成する手段として円柱レンズ (シリンドリカルレンズ) を用いることが通常であり、投光器と被計測対象物の間の距離や被計測対象物の大小に応じてスリット光束のサイズを変更する為には、円柱レンズを交換しなければならず、極めて不便であった。また、遠方に置かれた比較的大寸法の被計測対象物にスリット光を投射する為にレーザ光源からの光を大きく拡張してスリット光束を形成した場合には、投射される光帯の照度が低下することが避けられない。

【0006】 そこで、本出願人はこれらの問題点を回避する為に、旧来用いられていたスリット光に代えてスポットビームで被計測対象物を走査して対象物の被計測部分を横切る光帯を形成しながらこれをビデオカメラで観測し、得られた画像を画像処理装置を用いて解析することによって対象物の 3 次元位置情報を得る方式の 3 次元視覚センサに係る発明を出願している (特願平 5-32407 号)。

【0007】 この方式によれば、スポット光ビームを高速偏振走査する手段を有する投光装置によって 3 次元計測に必要な光投射が行われるので、被計測対象物の遠近、大小、存在方向、形状、最終的に必要な 3 次元情報の内容、精度等に自在に適応した光帯を形成することが可能となると共に、光源の発する光量を 3 次元計測に有用な部分に集中させて明るい光帯を形成させた条件下でビデオカメラによる観測を行うことが可能となるから、作業効率と測定精度に優れた 3 次元計測が実現される等の長所がある。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記スリット光を投射する旧来型あるいはスポット光走査型の 3 次元視覚センサのいずれにおいても、対象物上に形成される光帯を C C D アレイ等を備えたカメラで 2 次元画

像として取り込み、これを連続的な1次元アナログ信号に変換した後、画像処理装置に転送して2次元信号への再変換とデジタル信号化を行なった上で、フレームメモリに蓄えて画像処理を実行するという形がとられるので、膨大な記憶容量を有するフレームメモリが必要とされる。

【0009】また、画像の転送、変換、メモリへの書き込み/読み出等に時間を要する為、画像処理自体のアルゴリズムに相当する部分を高速化することが出来たとしても、全体の処理時間を短縮することには限界が生じていた。更に、画像処理自体についても、汎用のプロセッサを使用してフレームメモリ内に蓄えられた画像データを処理する為にメモリアクセスに時間をとられることも、処理速度に限界を与える要因となる。そして、通常の画像処理においては、変換、転送、デジタル化等の処理を画面全体分の信号に対して行われ、また、画像処理自体も全画面のデータを汎用プロセッサ等で処理することが行なわれているから、対象物についての必要な3次元情報を得る上で不必要的データまで含む膨大な処理を実行していることになり、3次元視覚センサ装置全体が高価となるにも拘らず非効率的であった。

【0010】前記CCDを用いた3次元視覚センサの他に、スポット光ビームによって形成された輝点を観測する位置検出型検出器として2次元位置検出機能を有する位置検出型検出器(2次元PSD)を用いたものや、スポット光ビーム投射手段としてポリゴンミラーを用いたものがある。しかし、前者は装置全体を安価に構成する上で不利である。また、後者にはスポット光ビームの投射方向を2次元的にランダムに制御出来ず、従って、計測途中において先行して得られた検出出力に基づいて以降のスポット光ビームの投射方向を自由に選択するというような制御は実行出来ない。

【0011】本願発明の基本的な目的は、このような従来技術の問題点を克服し、処理時間の高速化が可能で経済性にも優れた3次元視覚センサを提供することにある。更に、本願発明は、被計測対象物の稜線部、凹部や凸部の縁部など被計測対象物の外形の特徴部分を効率的な計測プロセスによって簡単に検出し得る3次元視覚センサを提供することを企図したものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本願発明は、上記目的を達成する為の基本的な構成として、「投射方向を2次元的にランダムスキャン制御し得るスポット光ビーム投射手段と、該スポット光ビームが被計測対象物に入射した位置に形成されるスポット状輝点を検出する1次元位置検出型光検出手段と、前記スポット光ビームの投射方向と前記位置検出型光検出手段の検出出力に基づいて前記被計測対象物上に形成された前記スポット状輝点の位置を決定する手段を備えたスポット光走査型3次元視覚センサ」、を提案したものである。

【0013】また、特に、被計測対象物の稜線部、凹部や凸部の縁部など被計測対象物の外形の特徴部分を簡単に検出し得る構成として、「投射方向を2次元的にランダムスキャン制御し得るスポット光ビーム投射手段と、該スポット光ビームが被計測対象物に入射した位置に形成されるスポット状輝点を検出する1次元位置検出型光検出手段と、前記スポット光ビームの投射方向と前記1次元位置検出型光検出手段の検出出力に基づいて前記被計測対象物上に形成された前記スポット状輝点の位置を10決定する手段と、前記スポット光ビームの投射方向を連続的に変化させた時に得られる前記1次元位置検出型光検出手段の検出出力の変化に基づいて被計測対象物の外形特徴部を検出する手段を備えたスポット光走査型3次元視覚センサ」、を併せて提案したものである。

【0014】更に、計測プロセスの途上において、先行して得られた検出出力に基づいて以降のスポット光ビームの投射方向を自由に選択し、計測プロセス全体をより効率化することを可能にするために、「計測プロセスの途上において、先行して取得された前記位置検出型検出器の検出出力に基づいて、それ以降の前記スポット光ビーム投射方向を変化させるように前記ランダムスキャン制御を行なわせる手段を更に備えている」、と言う要件を上記各構成に課したものである。

【0015】

【作用】本願発明の3次元視覚センサは、投光方向を2次元的なランダムスキャン制御により高速で自由に変えることの出来るスポット光投射手段と1次元位置検出機能を有する位置検出型の検出器(PSD; Position Sensing Detectorの略称。以下、この略称を使用する。)30を利用した光学式変位センサに相当する手段を組み合わせて計測系を構成することにより、被計測対象物の遠近、大きさ、形状や必要とする3次元位置情報に応じた自在な計測をより効率的に行えるようにしたものである。

【0016】スポット光投射手段によって被計測対象物上に形成されたスポット状の輝点はPSDの検出面上に投影される。投影された輝点像の位置(一般には、重心位置)が簡単な電気的な出力で取り出される。従って、スポット光投射手段からのスポット光ビームの投光方向40を2次元的なランダムスキャン制御により高速で変化させた時、輝点像の位置の変化を連続的に変化する信号として取り出し、これを実時間的に処理することが可能である。

【0017】この特徴を生かし、スポット光ビームの投光方向を2次元的に高速で変化させながらPSDの検出出力の変化(例えば、検出出力レベルの不連続な変化)に基づいて、被計測対象物の外形特徴部(凹部、凸部、稜線部等)を実時間で高速に検出することが出来る。このような特徴は、検出面上の輝点像の位置を求めるために画像処理を要したCCDアレイを用いた従来方式では50

事実上期待し得ないものである。

【0018】ここで、本願発明の原理の理解を容易にするために、レーザ変位センサの基本的な構成と計測原理について、図1を参照して説明しておく。同図を参照すると、符号1はスポット光光源としてのLD(半導体レーザ)で、その出射光はコリメータレンズ2で平行化され、更に集光レンズ3によりビーム径が絞られて、被計測対象物4上にスポット光として投射される。この投射スポット光像をレンズ5を介して1次元的な位置検出機能を有するPSD(位置検出型光検出器)6の検出面上に検出スポット像として入射させる。被計測対象物4の位置が入射光の光軸Gに沿って変位(P→P')すると、検出スポット像もPSD上で移動する(Q→Q')。

【0019】1次元的な位置検出機能を有するPSD6は、スポット光の入射位置に応じて2つの電流出力I1、I2のを生成するもので、 $I_{12} = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$ がPSD上での入射位置を表わす基本式である。各電流出力I1、I2を電流電圧変換回路7で電圧V1、V2に変換し、演算回路8により演算 $\Delta I_{12} = (V_1 - V_2) / (V_1 + V_2)$ を行えば、光軸G上における検出スポット光(輝点)の位置が判り、それに基づいて被計測対象物4の3次元位置(投射スポット光によって形成された輝点の3次元位置)を求めることが出来る。適当なキャリブレーションを実行しておけば、光軸G上の基準点を原点とする位置データが求められる。

【0020】なお、符号10は、LD1の出力光強度をモニタする為にLD1に付属装備されたモニタ光検出器で、その出力に基づいてコントローラ11を介して光源駆動回路12が制御され、LD1の出力光強度が一定に保たれる。

【0021】以上がレーザ変位センサの基本的な構成と計測原理であるが、ここでLD1の入射ビームを偏向走査可能なものとすれば、被計測対象物上においてスポット光が形成される位置が3次元的に移動し、それに応じてPSD上のスポット像入射位置が2次元的に変化する。従って、入射ビームの偏向走査状態を表わす量(例えば、偏向ミラーの偏向角)とPSDへのスポット像入射位置検出結果に基づいて、被計測対象物上におけるスポット光形成位置を求めることが可能になる。以下、これを具体的に説明する。

【0022】図2は、上記原理に従って3次元計測を行なう為の基本配置を例示したものであり、各要素の符号は図1に準じて付されている。図中、1はスポット光光源としてのレーザ、2、3は各々Xスキャナ、Yスキャナであり、これらはスポット光ビームのプロジェクタPRを構成している。Xスキャナ2、Yスキャナ3は各々

$$\theta_{x0} = \theta_x 0 + m \Delta \theta_x$$

$$\theta_{y0} = \theta_y 0 + n \Delta \theta_y$$

ここで、 $\theta_{x0}$ 、 $\theta_{y0}$ は、各偏向ミラーMX、MYの最小

偏向ミラーMX、MYを備えており、その偏向角 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ に応じた方向に向けてスポット光ビームGを投射する。

【0023】一方、PSD6はプロジェクタPRと適宜の距離をおいて配置され、そのレンズ5を介して被計測対象物4上に形成されるスポット状輝点(以下、単に「輝点」と言う。)Pを検出する。ここで、PSD6のレンズ乃至レンズ系(以下、単にレンズと言う。)5の光心を原点Oとし、X軸方向をレーザ1からのレーザビーム出射方向にとり、Z軸方向をPSD6の光軸に一致させた座標系Σを定義し、偏向ミラーMX、MYの回転軸の方向を図示した通り、Z軸及びX軸方向に平行に設定するものとする。

【0024】また、PSD6として1次元的な位置検出機能を有するものを使用し、検出面6a上の基準線位置6bから測った検出点QのX軸方向成分qの関数で検出出力が得られるようにその姿勢を定めるものとする。

【0025】そして、レンズ5に関するPSD6の検出面6aのイメージプレーンH(検出面6aのレンズ5による像形成面)がX'Y'平面と一致し、原点O'が座標系ΣのZ軸上に乘るように座標系Σ'を定義する。PSD6は、被計測対象物4の検出対象面がこのイメージプレーンHの近辺(レンズ5による輝点Pの像が検出面6b上でぼけない範囲、一般的にはレンズ5の焦点深度の範囲内)に来るよう配置される。図では、被計測対象物4のプロジェクタPRに対向する面4aの手前側にイメージプレーンH(X'Y'平面)がある状態が描かれている。

【0026】プロジェクタPR、被計測対象物4、PSD6及び座標系Σ、Σ'に以上の関係を想定した場合、各偏向ミラーMX、MYの配置位置等を含むプロジェクタの装置定数と各偏向角 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ によってスポット光ビームGを表現する直線の方程式が決まり、輝点Pの位置は被計測対象物4の面4aと直線Gの交点として与えられることになる。座標系Σ上における輝点Pの位置ベクトルを $\langle r \rangle$ で表わすこととする。

【0027】各偏向ミラーMX、MYの偏向角 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ を、次式(1)、(2)で表わされるように、各々微小角 $\Delta \theta_x$ 及び $\Delta \theta_y$ を最小単位としてセット値(m、n; 但し、m、nは0または正整数)を指定する形でディスクリートに制御することを考えると、このセット値(m、n)に応じてスポット光ビームGを表わす方程式が一意的に決まり、これに対応するイメージプレーンHとの交点位置 $H_{mn}$ も決定されることになる。座標系Σ上における点 $H_{mn}$ の位置ベクトルを $\langle h_{mn} \rangle$ で表わすこととする。

【0028】

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

50 偏向角度である。各偏向ミラーMX、MYの偏向角を指

定するセット値 (m, n) の集合を考えると、この集合に対してほぼ格子状に並ぶ交点位置  $H_{mn}$  の集合が 1 対 1 で対応する。従って、スポット光ビーム  $G$  の投射状態 ( $G_{mn}$ ) をこのイメージプレーン  $H$  上の交点位置  $H_{mn}$  で代表させることが出来る。ここで、交点  $H_{mn}$  に対応する検出面 6 a 上の検出点を  $K_{mn}$  とし、 $K_{mn}$  に対する  $q$  値 (基準線 6 b からの符号付きの偏差) を  $k_{mn}$  とし、点  $H$

$$\Delta q_{mn} = q - q_{mn}$$

と表わされる。そして、直線  $G_{mn}$  上における点  $H_{mn}$  と点  $P$  の位置の違いを点  $H_{mn}$  から  $P$  へ向かうベクトル  $\langle \Delta r_{mn} \rangle$  で表わすと、ベクトル  $\langle \Delta r_{mn} \rangle$  の方向は (m, n) で決っており (直線  $G_{mn}$  の方向と一致)、向きと大

$$\begin{aligned} \langle \Delta r_{mn} \rangle &= \langle g_{mn} \rangle \times f_{mn} (\Delta q_{mn}) \\ \langle r \rangle &= \langle h_{mn} \rangle + \langle \Delta r_{mn} \rangle \\ &= \langle h_{mn} \rangle + \langle g_{mn} \rangle \times f_{mn} (\Delta q_{mn}) \end{aligned}$$

ここで、 $\langle g_{mn} \rangle$  は、スポット光ビームの方向に一致する方向を向いた単位ベクトルである。

【0029】点  $H_{mn}$  の位置を表わす  $\langle h_{mn} \rangle$ 、スポット光ビームの方向に一致する方向を向いた単位ベクトル  $\langle g_{mn} \rangle$  及び依存関係  $f_{mn} (\Delta q_{mn})$  を具体的に表わすデータは、いずれも視覚センサシステムの設計データあるいは適当なキャリブレーションによって事前に獲得し得るものである。

【0030】従って、これらデータを、すべての  $m, n$  乃至適当な刻みで選択された  $m, n$  について、予め 3 次元視覚センサのメモリに用意しておき、必要に応じてこれを読み出して上記 (5) 式に相当する計算を実行すれば、輝点  $P$  の 3 次元位置を求めることが出来る。なお、このようなイメージプレーン  $H$  上の点  $H_{mn}$  を基準にしたデータではなく、偏向角 ( $\theta_x, \theta_y$ ) と PSD 6 の検出出力の値から直接的に輝点  $P$  の 3 次元位置を決定するテーブルデータ、計算式等を準備しておく方式を採用することも可能である。

【0031】次に、本願発明の 3 次元視覚センサにおける被計測対象物外形特徴部分 (稜線部、凹部や凸部の縁部など) の検出原理について説明する。図 3 は、被計測対象物の特徴部分 (ここでは、凹部の縁部) を Y 軸方向に沿ってスポット光ビームで走査した場合の PSD 6 の出力変化を概念的に説明したもので、(1) は凹部周辺におけるスポット光ビーム入射位置の推移を断面図で表わしており、(2), (3), (4) は各々その際の PSD 6 の検出出力の推移、1 次微分の推移、2 次微分の推移を表わしている。

【0032】図 3 (1) において、4 は被計測対象物で 4 b は奥行き方向 (Z 軸方向) に形成された凹部である。この凹部が Y 軸方向に縦断するように偏向ミラー M Y からスポット光ビームが G1 ~ G5 の走査範囲で走査される場合を考える。スポット光ビームと凹部 4 b が図示された位置関係にあるケースでは、スポット光ビームの偏向方向が G1 → G2 → G3 → G4 → G5 と連続的に

8  
m から P へ向かうベクトルを  $\langle \Delta r_{mn} \rangle$  で表わした場合、上述したレーザセンサの測距原理から理解されるように、輝点 P に対応する検出面 6 a 上の検出点 Q の X 座標値  $q$  は、直線  $G_{mn}$  上における点  $H_{mn}$  と点 P の位置の違いに応じて点  $K_{mn}$  の座標値  $k_{mn}$  と異なった値を有することになり、その相違量を  $\Delta q_{mn}$  とすれば、

$$\dots (3)$$

きさは  $\Delta q_{mn}$  に依存した PSD 6 の検出出力で決まる。  
10 この依存関係を次式 (4) で表せば、下記の (5) が成立する。

$$\dots (4)$$

$$\dots (5)$$

推移した場合のスポット光状輝点位置は、 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5$  と推移する。 $P_2 \rightarrow P_3$  の位置変化は不連続に起る。

【0033】このような推移があった場合の PSD 6 の  
20 出力推移は、図 3 (2) に示したようなパターンを描くことになる。即ち、輝点が  $P_1 \sim P_2$  間では、被計測対象物 4 の外形に Z 軸方向の変化が無いことに対応して PSD 出力はほぼ一定値で推移する。しかし、 $P_2$  から  $P_3$  に輝点位置がジャンプすると、これに対応して PSD 出力が不連続に変化する。 $P_3 \sim P_4$  の間は再び外形に Z 軸方向の変化が無いことに対応して PSD 出力はほぼ一定値で推移し、 $P_4 \sim P_5$  では輝点位置が Z 軸方向に連続的に変化することに対応して、PSD 出力も連続的に変化する。そして、 $P_5 \sim P_6$  間では、再度被計測対象物 4 の外形に Z 軸方向の変化が無い区間に入り、PSD 出力はほぼ一定値で推移する。

【0034】このような PSD 出力の推移の 1 次微分及び 2 次微分は、図 (3) 及び (4) のようなパターンを有するグラフとなる。これらのグラフから判るように、輝点の奥行き方向位置が不連続に変化する部分では 1 次微分に明確なピークが現れ、輝点の奥行き方向位置の連続的な変化の開始／終了部分では 2 次微分に明確なピークが現れるということである。

【0035】従って、PSD 6 の出力の 1 次微分及び 2 次微分のピークを検出することによって、被計測対象物 4 の 3 次元的な特徴部 (縁部、稜線部など) を検出出来る。1 次微分及び 2 次微分のピーク検出は、近接した 2 点以上における PSD 出力の「差分」及び「差分の差分」を計算し、適当なしきい値と比較することによって実行することが出来る (後述、実施例参照)。

【0036】以上が本願発明のスポット光走査型 3 次元視覚センサにおける 3 次元位置データの取得原理及び外形特徴部分の検出方法であるが、実際の計測にあたっては、被計測対象物の全表面の正確な 3 次元位置データを必要とすることは稀であり、凹凸部の縁部、稜線等の特

微部分についてのみ 3 次元位置データを収集し、それに基づいて被計測対象物の位置や姿勢の計測、形状判定等を行なえば良い場合が殆どである。従って、次に述べる実施例に示したように、プロジェクタによるスポット光ビーム走査の利点を活かし、計測目的に応じて必要な部分を選択的に走査すると共に特に重要な部分（例えば、縁部周辺）については他の部分よりも密な走査を行なって 3 次元位置データを獲得する形態をとることが望ましい。

【 0 0 3 7 】 従来のカメラ手段によって得られた画像データを蓄積してこれを解析する方式ではこのような選択的な情報取得やデータ収集密度の粗密制御は困難であるのに対し、本願発明では投射方向を自在に選択しながら 3 次元位置情報を収集出来るから、選択的な情報取得やデータ収集密度の粗密制御が容易となる。また、収集したデータの記憶／読み出し／演算等の処理に大容量のフレームメモリや高性能の画像処理プロセッサを用意する必要がなく、データ処理時間が短縮されることも本願発明の特徴である。

## 【 0 0 3 8 】

【実施例】 図 4 は、本願発明のスポット光走査型 3 次元視覚センサを円形の凹部 4 b を有するワークの円形凹部中心 4 c の 3 次元位置計測に適用した事例における全体配置を表わしたものである。同図に示されている 3 次元視覚センサの各構成要素及びスポット光ビーム G mn 、輝点 P 、イメージプレート上の対応点 H mn 、検出点 Q 等についての相互位置関係は、図 2 に示したものと基本的に同じであり、それらに準じた符号が付されている。

【 0 0 3 9 】 即ち、1 はスポット光光源としてのレーザ、2、3 は各々 X スキャナ、Y スキャナであり、これらはスポット光ビームのプロジェクタを構成する。X スキャナ 2 、Y スキャナ 3 は各々偏倚ミラー MX 、 MY を備え、その偏倚角  $\theta_x$  、  $\theta_y$  に応じた方向に向けてスポット光ビーム G を投射する。PSD 6 はプロジェクタと適宜の距離をおいて配置され、そのレンズ 5 を介して本実施例における被計測対象物となるワーク 4 上に形成されるスポット P を検出面 6 a 上で検出する。PSD 6 としては、1 次元的な位置検出機能を有するものを使用し、基準位置 6 a から測った検出点 Q の X 軸方向成分 q に依存した検出出力が得られるようにその配置姿勢が設定されている。

【 0 0 4 0 】 そして、図 2 における描示と同じく、レンズ 5 に関する PSD 6 の検出面 6 a のイメージプレーン H が X' Y' 平面と一致し、原点 O' が座標系  $\Sigma'$  の Z 軸上に乗るように座標系  $\Sigma'$  が定義されている。ワーク 4 は、凹部 4 b を有する面 4 a がプロジェクタ PR に対向するように配置され、面 4 a の手前側にイメージプレーン H ( X' Y' 平面) があるものとする。面 4 a はイメージプレーン H に対してやや傾斜した関係にあるものとする。

【 0 0 4 1 】 図 5 は本願発明の 3 次元視覚センサのシステム構成の 1 例を要部ブロック図で示したものである。システム全体は、図 3 に示したプロジェクタ PR と PSD 6 に加えて主制御装置 20 、プロジェクタ PR を制御するプロジェクタ制御装置 30 並びに PSD 6 の検出信号の処理回路を含む PSD 検出信号処理装置 40 から構成されている。

【 0 0 4 2 】 主制御装置 20 は、マイクロプロセッサからなる中央演算処理装置（以下「CPU」と言う。） 2

10 1 を備え、CPU 21 には所要の記憶容量を有する ROM メモリ 22 及び RAM メモリ 23 、キーボード 24 及び入出力装置（I/O） 25 が、バス 26 を介して接続されている。また、プロジェクタ制御装置 30 及び PSD 検出信号処理装置 40 にも同様に、所要の処理能力を有する CPU 31 、 41 、所要の記憶容量を有する ROM メモリ、 RAM メモリ、入出力装置（I/O）等が装備されている（個別の図示は省略）。

【 0 0 4 3 】 主制御装置 20 、プロジェクタ制御装置 30 、 PSD 検出信号処理装置 40 が相互間、プロジェクタ

20 制御装置 30 とプロジェクタ PR 及び PSD 検出信号処理装置 40 と PSD 6 は、各入出力装置を介して接続されており、各装置のメモリに格納されたプログラムに基づくソフトウェア処理の為の指令あるいはデータの授受が行なわれる。

【 0 0 4 4 】 主制御装置 20 のキーボード 24 は、システム各部に必要な設定値やプログラムの記憶・編集・転送、あるいは実行プログラムの指定・起動等を主制御装置 20 の CPU 21 を介して実行する為の指令を入力する為に使用出来る。プロジェクタ PR は、前記（1）

30 （2）式に関連して述べたように、偏倚ミラー MX 及び MY の偏倚角  $\theta_x$  、  $\theta_y$  を微小角  $\Delta \theta_x$  及び  $\Delta \theta_y$  刻みで指定して制御出来るものとする。例えば、前記

（1） 、（2）式における走査開始偏倚角を  $\theta_{x0} = \theta_{y0} = 90^\circ$  に設定し、  $\Delta \theta_x = \Delta \theta_y = 0.1^\circ$  とすれば、  $(\theta_x, \theta_y)$  の値は、 m 、 n を 0 または任意の正整数 1 、 2 、 3 … として、  $(90.0^\circ + m \times 0.1^\circ, 90.0^\circ + n \times 0.1^\circ)$  で表わされる。

【 0 0 4 5 】 本実施例では、主制御装置 20 、プロジェクタ制御装置 30 及び PSD 検出信号処理装置 40 にソフトウェア処理を割り当てて、次の様な疎密／局所繰り返し走査方式によるスポット光ビーム走査を遂行し、円形凹部 4 b の中心位置、半径及び向き（面 4 a の向き）を計測するプロセスについて述べることにする。説明を判り易くする為に、先ず、本実施例における疎密／局所繰り返し走査方式の概要について説明する。

【 0 0 4 6 】 図 6 は本実施例におけるスポット光ビーム G の走査経路全体の概略を示した図である。同図において、4 は被計測対象物で 4 b はその円形凹部である。凹部 4 b は外側縁部 4 c と内側縁部 4 d を有している。P 50 start 、 P end は指定された偏倚ミラー MX 、 MY の走

査開始／終了偏向角に対応する輝点位置である。ここでは、被計測対象物 4 の位置にはそれほど大きなバラツキが無く、図示された近辺に  $P_{start}$  ,  $P_{end}$  が形成され、これらの点を対角線とする四辺形の中に円形凹部 4 b が収まるという条件はワーク 4 が変わっても崩れないものとする。

【0047】走査は上記四辺形領域の中で、縦ピッチ  $\alpha$  を  $\alpha = 10\alpha_0$  、横ピッチ  $\beta$  を  $\beta = B_0$  として、X 軸方向の走査位置を  $B_0$  づつづらせながら Y 軸方向のピッチ  $10\alpha_0$  毎に輝点を一旦停止させることを繰り返す疎モード走査に、縦ピッチ  $\alpha$  について  $\alpha = \alpha_0$  のピッチで Y 軸方向に走査を行なう密モード走査を組み合わせたものとする。

【0048】密モードは、図中 50, 60, 70 で例示したような外形の特徴部（奥行き方向に位置変化を生じる変化部分）の近傍について、疎モードの 1 ピッチ分 ( $10\alpha_0$ ) だけ走査位置を後戻りさせてから、再度  $\alpha_0$  刻みで Y 軸方向に走査位置を変えていく局所繰り返し走査を行なうものである。このような密走査モードによる繰り返し走査を行なうべき特徴部の特定は、疎モード走査実行中に  $P_{SD6}$  の出力の 1 次微分及び 2 次微分を繰り返しチェックすることによって行なわれる（図 3 関連説明及び後述する処理フローチャートを参照）。そして、この密走査モード時には、作用の説明の欄で述べた 3 次元位置計測原理に基づいて、当該特徴部の 3 次元位置データが取得される。

【0049】図 7 は、1 例として符号 50 及び 60 で示した特徴部分領域の近傍における繰り返し走査経路を拡大表示したものである。これを簡単に説明すると、図中下方からスポット光ビームは疎走査モード状態にあり、先ず A 点に輝点を形成し、 $P_{SD6}$  の出力を得た上でピッチ  $\alpha = 10\alpha_0$  で B 点に移動し、B 点について  $P_{SD6}$  の出力を得る。A B 間に縁部は存在しないから、スポット光ビームは再びピッチ  $\alpha = 10\alpha_0$  で C 点に移動して輝点を形成し、C 点について  $P_{SD6}$  の出力を得る。

【0050】今度は、作用の説明の欄で述べた原理により、点 B と点 C の間に縁部 4 c が存在していることが検出される（ここでは、輝点形成位置に大きな跳躍は無いから 2 次微分ピークで検出）。すると、スポット光ビームは、B 点に戻り、ピッチ  $\alpha = \alpha_0$  の密モード走査を開始する（局所繰り返し走査）。B 7 と B 8 の間では、 $P_{SD6}$  の出力の 1 次 / 2 次微分信号から再度縁部 4 c が検出されると共に、その 3 次元位置が計算される。すると、再度疎モードに復帰して、走査スポット光ビームは点 B 8 から  $10\alpha_0$  離れた点 D に移動する。ところが、B 8 D 点間には、縁部 4 d が存在しているので、D 点の次は再び B 8 点に戻り、ピッチ  $\alpha = \alpha_0$  として密モード走査を再度開始する。C 4 と C 5 の間で  $P_{SD6}$  の出力の 1 次 / 2 次微分から縁部 4 d が検出されると共に、そ

の 3 次元位置が計算される。そして、再び疎走査モードに復帰して、スポット光ビームは点 C 5 から  $10\alpha_0$  離れた E 点へ移動する。

【0051】結局、領域 50, 60 近辺における走査経路は、 $\cdots \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow B_3 \rightarrow B_4 \rightarrow B_5 \rightarrow B_6 \rightarrow B_7 \rightarrow B_8 \rightarrow D \rightarrow B_8 \rightarrow B_9 \rightarrow C \rightarrow C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow E \cdots$  となる。

【0052】以上、スポット光ビーム G の走査の概要について説明したので、以下、図 5 に示したシステム構成 10 を有する 3 次元視覚センサを用い、被計測対象物 4 が有する円形凹部 4 b の 3 次元位置情報を得る為のソフトウェア処理について説明する。

【0053】ソフトウェア処理全体は、次の 4 つのアルゴリズム  $ALG 1 \sim ALG 4$  を実行するものであり、各アルゴリズムに従った処理は  $CPU 21, 31, 41$  に適宜割り当てられる。ここでは、( ) 内に付記した割当を探用する。各アルゴリズムに対応した処理は、相互に連携した形で実行される（具体的には後述）。

【0054】 $ALG 1$  : 投光位置決定アルゴリズム ( $CPU 31$ ) = プロジェクタ PR によるスポット光ビームの投光位置（偏向ミラー MX, MY の偏向角  $\theta_x, \theta_y$ ）を順次決定し、上記説明した通りのスポット光ビーム走査を実行する為のアルゴリズム。下記の  $ALG 2$  及び  $ALG 3$  の処理結果を利用して、上記説明した疎 / 密モード走査の切換制御及び局所繰り返し走査制御の処理が含まれている。

$ALG 2$  : 1 次微分ピーク検出アルゴリズム ( $CPU 41$ ) = スポット光ビームの投光位置の移動に応じて  $P_{SD6}$  の位置検出出力の 1 次微分に相当する量をチェックして、そのピークを検出する為のアルゴリズム。

$ALG 3$  : 2 次微分ピーク検出アルゴリズム ( $CPU 41$ ) = スポット光ビームの投光位置の移動に応じて、 $P_{SD6}$  の位置検出出力の 2 次微分に相当する量をチェックして、そのピークを検出する為のアルゴリズム。

$ALG 4$  : 3 次元位置計算アルゴリズム ( $CPU 41$ ) = プロジェクタ PR によるスポット光ビームの密走査モード時に検出される円形凹部の縁部の  $P_{SD}$  検出出力と、その時の投光位置（偏向ミラー MX, MY の偏向角  $\theta_x, \theta_y$ ）を表すデータに基づいて、その円形凹部の縁部の 3 次元位置を計算する為のアルゴリズム。なお、ここでは、全走査によって得られた各円形凹部の縁部の 3 次元位置計算結果に基づいて、円形凹部 4 b の中心位置と姿勢を計算する処理が含まれている。

【0055】以上のアルゴリズム  $ALG 1 \sim ALG 4$  を実行するにあたっては、主制御装置 20、プロジェクタ制御装置 30 及び  $P_{SD}$  検出信号処理装置 40 に対し、予め次の準備がなされているものとする。

【0056】【プロジェクタ制御装置 30】

1. 図 6 に示した走査開始位置  $P_{start}$  に対応した走査開始偏向角 ( $\theta_{x0}, \theta_{y0}$ ) の設定。

2. 縦ピッチ  $\alpha$  及び横ピッチ  $\beta$  の単位量  $\alpha_0$  及び  $\beta_0$  に対応する偏向角の大きさの設定。 $\alpha_0$  は Y 軸方向偏向角の制御最小単位  $\Delta \theta_y$  刻み、 $\beta$  は X 軸方向偏向角の制御最小単位  $\Delta \theta_x$  刻みで各々設定される。例えば、 $\Delta \theta_x = \Delta \theta_y = 0.1^\circ$  として、 $\alpha_0 = 0.1^\circ$ 、 $\beta = 2.0^\circ$  の如く設定する。これらの値の大きさは、ワーク 4 の大きさ、要求される計測精度、計測時間等に応じて定めることが好ましい。

3. 疎走査モードと密走査モードにおける縦方向ピッチ  $\alpha$  の大きさを表わす指標となるレジスタ領域の設定。レジスタ値  $\gamma$  は  $\gamma = \alpha / \alpha_0$  とする。従って、ここでは、疎走査モード時には  $\gamma = 10$  であり、密走査モード時には  $\gamma = 1$  となる。なお、疎密ピッチ比を 10 : 1 以外の値とする場合には、疎走査モード時の  $\gamma$  の値を所望の疎密比に対応した別の値とすれば良い。

【0057】4. 投光位置（偏向角度  $\theta_x$ 、 $\theta_y$ ）を表わす基本指標値を与えるカウンタレジスタ領域（以下、「カウンタ」と言う。）を RAM 内に設定する。カウンタは、Y 軸方向の投射位置移動量  $\alpha_0$  毎に 1 を計数する縦方向カウンタ（カウント値を  $i$  で表わす。）と、X 軸方向の投射位置移動量  $\beta_0$  毎に 1 を計数する横方向カウンタ（カウント値を  $j$  で表わす。）を設定する。疎走査モード ( $\alpha = 10 \alpha_0$ ) では投射位置の移動に従って、カウント値  $i$  は 10 づつ計数され、密走査モード ( $\alpha = \alpha_0$ ) では 1 づつ計数される。

【0058】5. 図 6 に示した走査範囲に対応した  $i$  及び  $j$  の上限値  $i_{max}$ 、 $j_{max}$  の設定。計数値  $i$  が上限値  $i_{max}$  に達すると、 $j < j_{max}$  である限り、 $i$  は  $i = 0$  にリセットされる。 $i = i_{max}$  で  $j = j_{max}$  の状態は、走査経路の終点  $P_{end}$ （図 6）を表わしている。

【0059】6. 図 8 のフローチャートに示した ALG 1（投光位置決定アルゴリズム）に従った処理を実行するプログラムのローディング。

【0060】【検出信号処理装置 4 0】

1. PSD 6 の検出出力の 1 次微分相当量を計算／チェックする為に使用される指標となる計数値  $t$  を生成するカウンタの設定。

【0061】2. PSD 6 の検出出力の 2 次微分相当量を計算／チェックする為に使用される指標となる計数値  $t'$  を生成するカウンタの設定。

【0062】3. 相前後する投光位置における PSD 6 の検出出力値に基づいて 1 次微分ピークを検出する為のしきい値 Peak 1 及び 2 次微分ピークを検出する為のしきい値 Peak 2 の設定。

【0063】4. 図 9 のフローチャートに示した ALG 2（1 次微分ピーク検出アルゴリズム）に従った処理を実行するプログラムのローディング。

【0064】5. 図 10 のフローチャートに示した ALG 3（2 次微分ピーク検出アルゴリズム）に従った処理を実行するプログラムのローディング。

## 【主制御装置 2 0】

1. 上記偏向開始角度  $\theta_x 0$ 、 $\theta_y 0$  及び  $(i, j)$  で指定される各投射位置 ( $i = 0, 1, 2, \dots, i_{max}$  ;  $j = 0, 1, 2, \dots, j_{max}$ ) について、前記作用の説明の欄で述べた PSD 6 のイメージプレーン上における各対応点（投光スポット光ビームとイメージプレーンの交点） $H(i, j)$  の 3 次元位置  $< h(i, j) >$  を表わすテーブルデータの入力。

10 2.  $(i, j)$  で指定された状態におけるスポット光ビームの方向に一致する方向を向いた単位ベクトル  $< g(i, j) >$  のデータ、即ち、XYZ 成分テーブルデータ  $g(i, j)_x, g(i, j)_y, g(i, j)_z$  の入力。

3.  $(i, j)$  で指定された各状態において、PSD 6 の検出出力とイメージプレーン上の対応点  $H(i, j)$  からワーク 4 への入射点  $P$  へ向かうベクトル  $< \Delta r(i, j) >$  の向きと長さを表わすデータ（正負の数値からなるテーブルデータ）の入力。

20 4. 図 11 のフローチャートに示した ALG 4（3 次元位置計算アルゴリズム）に従った処理を実行するプログラムのローディング。

【0066】以上の準備の下に、ワーク 4 に対する 3 次元計測の処理を開始する。以下、図 8～図 11 を並列的に参照し、各アルゴリズム ALG 1～ALG 4 の処理内容をスポット光走査型 3 次元視覚センサの動作順序に即して説明する。

【0067】先ず、主制御装置 2 0 が外部信号（例えば、ワーク 4 の計測位置への到着を知らせる外部信号、図示省略）を受信すると、ALG 1～ALG 4 の処理が 30 ほぼ同時に開始される。処理開始時の各カウンタの設定状態は図中に付記した通りである。ALG 1～ALG 3 は、直ちに ALG 4 のステップ S4-1 からの投光指令を受信する態勢に入る（ステップ S1-1, S2-1, S3-1）。

【0068】ALG 4 のステップ S4-1 で投光指令が出力されると、ALG 1 では、 $(i, j)$  で指定された方向へスポット光ビームを投射する（ステップ S1-2）。初回は  $i = j = 1$  であり、プロジェクタ制御装置 3 0 に設定された走査開始偏向角 ( $\theta_x 0$ ,  $\theta_y 0$ ) に対応した方向にスポット光ビームが投射され、図 6 の  $P_{start}$  で示した位置に入射する。

【0069】ALG 2 及び ALG 3 では、ステップ S2-2, S3-2 でその時点におけるスポット光ビーム入射点（初回は  $P_{start}$ ）に関する PSD 検出出力を取り込む。これを ALG 2 では  $p_1$  と記し、ALG 3 では  $p_1'$  と記すことにする。次いで、カウンタ値  $t$ ,  $t'$  について 1 あるいは 2 を越えたか否かがチェックされる（ステップ S2-3, S3-3）。

【0070】初回は、 $t = t' = 1$  であるから、ステップ S2-1, ステップ S3-1 へ進み、ALG 1 のステップ

S 1-3 (ピーク信号受信) ヘピーク検出信号 (NO) を送信し、カウンタ  $t$  及び  $t'$  に 1 加算し (ステップ S 2-1 2, S 3-12) 、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S 2-13, S 2-14, S 3-13, S 3-14) 、ステップ S 2-1 及び S 3-1 へ戻り、次 (2回目) の投光指令を待つ。

【0071】ピーク検出信号 (NO) をステップ S 1-3 で受けた ALG 1 では、ステップ S 1-4 からステップ S 1-10 へ進み、位置計算信号 (NO) を出力して ALG 4 のステップ S 4-2 (位置計算信号受信) へ送信する。そして、ステップ S 1-11 でカウンタ  $i$  に縦走査のピッチを表わす指標  $\gamma$  (初回は疎走査に対応する  $\gamma = 10$ ) を加算し、 $i$  が上限値  $i_{max}$  を越えていないことを確認した上で (ステップ S 1-13) 、イニシャライズ信号 (NO) を ALG 2 のステップ S 2-9 及び ALG 3 のステップ S 3-9 へ送信する (ステップ S 1-15)。このイニシャライズ信号 (Y/N) は、カウンタ値  $t$  あるいは  $t'$  を 1 にリセットすることの有無を表わす信号である。

【0072】ALG 1 では、ステップ S 1-15 のイニシャライズ信号 (NO) の送信に引き続いで、走査終了信号 (NO) を ALG 2, 3, 4 の各ステップ S 2-13, S 3-13, S 4-7 へ送信する。この走査終了信号は、図 6 において、投光位置が  $P_{end}$  に到達したことの有無 (YES/NO) を表わす信号である。

【0073】さて、ALG 1 のステップ S 1-10 から位置計算信号 (NO) をステップ S 4-2 で受信した ALG 4 では、ステップ S 4-3 からステップ S 4-7 へ進み、ALG 1 ステップ S 1-21 からの走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S 4-8) ステップ S 4-1 へ戻り、次の投光指令を出力する。

【0074】2回目の投光指令が出されると、ALG 1 では ( $i, j$ ) で指定された方向へスポット光ビームを投射するが (ステップ S 1-2) 、今度は  $i = 11, j = 1$  であるから、偏角は ( $\theta x_0 + 10 \alpha_0, \theta y_0$ ) に対応した方向にスポット光ビームが投射される (図 6 参照)。

【0075】ALG 2 では、ステップ S 2-2 でスポット光ビーム入射点 ( $P_{start}$  の次の投光点; 図 6 参照) に関する PSD 検出出力  $p_2$  を取り込み、カウンタ値  $t$  について 1 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S 2-3)。今度は、 $t = 2$  となっているから、ステップ S 2-3 からステップ S 2-4 へ進み、前回の投光点について得られている PSD 検出出力との差分  $d_p = p_1 - p_{1-1}$  (ここでは  $p_2 - p_1$ ) が計算・記憶される。

【0076】図 3 の関連説明で述べた原理によって、前回の投光点と今回の投光点との間に投光点を跳躍させるような特徴部分がなければ、 $d_p = p_1 - p_{1-1}$  が大きな値を示すことではなく、統くステップ S 2-5 で NO の判断が出され、ステップ S 2-8 へ進んで ALG 1 のステップ S 1-3 (ピーク信号受信) ヘピーク検出信号 (NO) を

送信する。

【0077】一方、ALG 3 では、ステップ S 3-2 でスポット光ビーム入射点 ( $P_{start}$  の次の投光点; 図 6 参照) に関する PSD 検出出力  $p_2'$  を取り込み、カウンタ値  $t'$  について 2 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S 3-3)。今度は  $t' = 2$  となっているが、やはり  $t' > 2$  ではないから、ステップ S 3-7 へ進み、ALG 1 のステップ S 1-3 (ピーク信号受信) ヘピーク検出信号 (NO) を送信し、カウンタ  $t'$  に 1 加算し (S 3-1 2) 、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S 3-13, S 3-14) 、ステップ S 3-1 へ戻り、次 (3回目) の投光指令を待つ。

【0078】さて、ALG 2, 3 双方からピーク検出信号 (NO) をステップ S 1-3 で受けた ALG 1 では、ステップ S 1-4 からステップ S 1-10 へ進み、位置計算信号 (NO) を出力して ALG 4 のステップ S 4-2 (位置計算信号受信) へ送信する。そして、ステップ S 1-11 でカウンタ  $i$  に縦走査のピッチを表わす指標  $\gamma$  (疎走査に対応する  $\gamma = 10$  のまま) を加算し、 $i$  が上限値  $i_{max}$  を越えていないことを確認した上で (ステップ S 1-13) 、イニシャライズ信号 (NO) を ALG 2 のステップ S 2-9 及び ALG 3 のステップ S 3-9 へ送信する (ステップ S 1-15)。次いで、走査終了信号 (NO) が ALG 2, 3, 4 の各ステップ S 2-13, S 3-13, S 4-7 へ送信される。

【0079】説明を ALG 2 へ戻すと、ステップ S 2-9 でイニシャライズ信号 (NO) を受信した後、ステップ S 2-10 からステップ S 2-12 へ進みカウンタ値  $t$  に 1 を加算した上で、走査終了信号 (NO) の受信を確認し (ステップ S 2-13, 2-14) 、ステップ S 2-1 へ戻り次回の投光指令の受信を待つ。

【0080】ALG 4 のステップ S 4-1 で 3 回目の投光指令が出力された場合の ALG 1 及び ALG 2 の処理は、2 回目の投光指令出力後の処理と同様なので、説明は省略する。

【0081】ALG 3 では、ALG 4 のステップ S 4-1 で 3 回目の投光指令が出力されると、ステップ S 3-2 でスポット光ビーム入射点 ( $P_{start}$  の次の投光点; 図 6 参照) に関する PSD 検出出力  $p_3$  を取り込み、カウンタ値  $t'$  について 2 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S 3-3)。今度は、 $t = 3$  となっているから、ステップ S 3-3 からステップ S 3-4 へ進み、前回と前々回の投光点について得られている PSD 検出出力に基づいて  $d_p = p_1' - (2p_1' - 1) + p_1'^{-2}$  (ここでは  $p_3 - 2p_2 + p_1$ ) が計算・記憶される。

【0082】図 3 の関連説明で述べた原理によって、前回の投光点と今回の投光点との間に投光点を跳躍させるような特徴部分がなければ、この  $d_p$  が大きな値を示すことではなく、統くステップ S 3-5 では NO の判断が出され、ステップ S 3-8 へ進んで ALG 1 のステップ S 1-3 (ピーク信号受信) ヘピーク検出信号 (NO) が送

信される。

【0083】図6の事例を想定した本実施例では、 $P_{S1}$ から $10\alpha 0$ のピッチで上方に移動する走査経路は凹部4bから外れているので、ALG2, 3いずれにおいてもピーク検出は行なわれないまま投光点は最上端に到達する。その間のALG1～ALG4の処理（3回目の投光指令以降）は、上記説明したプロセスの繰り返しとなることは特に説明を要しないであろう。

【0084】走査経路の最上端への投光指令出力（ステップS4-1）があつて開始される処理サイクルにおけるALG1のステップS1-13では、それまでとは異なり、YESの判断がなされ、先ず、ステップS1-16でイニシャライズ信号（YES）がALG2, 3の各ステップS2-9, ステップS3-9へ送信される。次いで、縦カウンタ値iを0にリセットすると共に横カウンタ値jに1を加算（ここではj=2）する（ステップS1-17）。

【0085】更に、横カウンタ値が上限値に達していないことを確認した上で（ステップS1-18）、走査終了信号（NO）をALG2～ALG4の各ステップS2-13, S3-13, S4-7に送信し（ステップS1-20）、ステップS1-1へ戻って、次の投光指令を待つ。

【0086】ステップS1-16からイニシャライズ信号（YES）がALG2のステップS2-9へ初めて送信されると、ALG2では、それまでとは異なり、ステップS2-10からステップS2-11へ進み、カウンタ値tを1にリセットする処理を経由してステップS2-13へ進む。次いで、走査終了信号（NO）の受信を確認した上で（ステップS2-14）、ステップS2-1を復帰して次の投光指令を待つことは、既に説明したプロセスと変わりがない。

【0087】ステップS1-16からイニシャライズ信号（YES）がALG3のステップS3-9へ初めて送信された際の処理は、ALG2の場合と同様である。即ち、ALG3では、ステップS3-10からステップS3-11へ進み、カウンタ値t'を1にリセットする処理を経由してステップS3-13へ進む。次いで、走査終了信号（NO）の受信を確認した上で（ステップS3-14）、ステップS3-1を復帰して次の投光指令を待つことになる。

【0088】ここまで説明から判るように、投光位置がワーク4の円形凹部4bの縁部4cにかからない範囲では、ALG2のステップS2-5, ALG3のステップS3-5いずれにおいてもYESの判断がなされることがなく、従って、ALG3のステップS1-3にピーク（YES）信号が出力されることが無い。その結果ALG1のステップS1-8が実行されず、位置計算信号（YES）が出力されない。これによって、重要でない特徴部分以外の点について3次元位置を計算する無駄が省かれ、全体の計測時間が短縮される。

【0089】次に、図7を参照図に加え、疎・密走査モードの切換・繰り返し走査制御及び特徴部分の3次元位置データの取得が実行されるワーク4の円形凹部4bの

縁部4c部分におけるALG1～4の処理について説明する。

【0090】ここでは、図7に示したA点から投光位置が $10\alpha 0$ 上方に移動されてB点に投光が行なわれ、更に、それに引き続く一連の処理が終了した時点から説明を始めることにする。

【0091】ALG4のステップS4-1で新たな投光指令が出力されると、この時点では $\gamma = 10$ の状態が維持されていることから、ALG1のステップS1-2では、10図7におけるC点へスポット光ビームGが投射される。ALG2及びALG3では、ステップS2-2, S3-2でC点に関するPSD検出出力を取り込む。これをpcで表わす（以下、図7の他の点についても同様の表記とする）。

【0092】次いで、カウンタ値t, t'について1あるいは2を越えたか否かがチェックされる（ステップS2-3, S3-3）が、ここでは図示された位置関係から、 $t > 1, t' > 2$ である。

【0093】従って、ALG2では、ステップS2-3からステップS2-4へ進み、前回の投光点Bについて得られているPSD検出出力pbとの差分 $d_p = p_c - p_b$ が計算・記憶される。

【0094】前回の投光点Bと今回の投光点Cとの間には、縁部4cが存在するので、この $d_p$ の値は他の非特徴部分よりは大きくなるが、しきい値Peak1は投光点が奥行き方向に大きく跳躍したことを検出するよう設定されている限り、ステップS2-5でYESの判断は出されない。そこで、ステップS2-5以後の処理は非特徴部分の場合と同じく、ステップS2-8へ進んでALG301のステップS1-3（ピーク信号受信）へピーク検出信号（NO）を送信する。

【0095】一方、ALG3では、ステップS3-3からステップS3-4へ進み、前々回の投光点A、前回の投光点Bについて得られているPSD検出出力pa, pbと投光点CについてのPSD検出出力pcに基づき $d (d_p) = p_c - 2p_b + p_a$ が計算・記憶される。

【0096】前回の投光点Bと今回の投光点Cとの間には、縁部4cが存在するので、この $d_p$ の値は他の非特徴部分より大きくなる。そして、Peak2は、投光点40の奥行き方向位置そのものは大きく変化しなくとも、奥行き方向位置の変化率が跳躍したことを検出（2次微分ピークの検出）する為に設定されているしきい値であるから、図7の縁部4cをまたいで投光点が移動した際には、ステップS3-5の判断はYESとなる。

【0097】従って、ステップS3-5以後の処理は非特徴部分の場合とは異なり、ステップS3-6へ進んでALG1のステップS1-3（ピーク信号受信）へピーク検出信号（YES）を送信する。すると、ALG1では、ステップS1-3からステップS1-4, S1-5を経てステップS1-7へ進み、縦ピッチ指標 $\gamma$ の値が疎走査モードを表

わす  $\gamma = 10$  から密走査モードを表わす  $\gamma = 1$  に変更される。

【 0 0 9 8 】 そして、次のステップ S 1-9 で位置計算信号 (NO) を A L G 4 のステップ S 4-2 へ送信した上で、緯カウント値  $i$  を 10 減じ (ステップ S 1-12) 、イニシャライズ信号 (YES) を A L G 2, 3 の各ステップ S 2-9, S 3-9 へ送信する (ステップ S 1-14)。更に、ステップ S 1-21 では走査終了信号 (NO) が A L G 2 ~ A L G 4 の各ステップ S 2-13, S 3-13, S 4-7 へ送信され、ステップ S 1-1 へ戻って次回の投光指令を待つ。

【 0 0 9 9 】 ステップ S 1-14 のイニシャライズ信号 (YES) を受けた A L G 2, 3 の各ステップ S 2-9, S 3-9 では、ステップ S 2-10, ステップ S 3-10 からステップ S 2-11, ステップ S 3-11 へ各々進んで、カウンタ値  $t$  及び  $t'$  を 1 にリセットし、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S 2-13 → S 2-14, ステップ S 3-13 → S 3-14) 、ステップ S 2-1 あるいはステップ S 3-1 へ戻って次の投光指令を待つ。

【 0 1 0 0 】 この状態でステップ S 4-1 の投光指令が出力されると、緯カウント値  $i$  が 10 減ぜられている故に、A L G 1 のステップ S 1-2 では、図 7 における B 点へスポット光ビーム G が再度投射される。A L G 2 及び A L G 3 では、ステップ S 2-2, S 3-2 で B 点に関する P S D 検出出力  $p_c$  を取り込む。

【 0 1 0 1 】 次いで、カウンタ値  $t, t'$  について 1 あるいは 2 を越えたか否かがチェックされるが (ステップ S 2-3, S 3-3) 、ここでは  $t, t'$  が 1 にリセットされている。よって、A L G 2 ではステップ S 2-7 へ進んでピーク信号 (NO) を A L G 1 のステップ S 1-3 へ出力し、更に、ステップ S 2-12 でカウント値  $t$  を 1 アップし、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S 2-13, S 2-14) 、ステップ S 2-1 へ戻り次回の投光指令を待つ。A L G 3 でも同様に、ステップ S 3-7 → S 3-12 → S 3-13 → S 3-14 を経て、ステップ S 3-1 へ戻り次回の投光指令を待つ。

【 0 1 0 2 】 A L G 1 では、更に、ステップ S 1-3 → S 1-4 → S 1-10 の処理を経て、S 1-11 へ進み、緯カウント値  $i$  に  $\gamma$  が加算される。今度は、 $\gamma = 1$  に変更されているから、密走査のピッチに対応して  $i = i + 1$  とされる。

【 0 1 0 3 】 A L G 4 のステップ S 4-2 では、A L G 1 の S 1-10 からピーク信号 (NO) を受信し、ステップ S 4-3 → S 4-7 → S 4-8 を経てステップ S 4-1 へ戻る処理が順次実行される。次いで、ステップ S 4-1 で再び投光指令が出力されると、A L G 1 では ( $i, j$ ) で指定された方向へスポット光ビームを投射するが (ステップ S 1-2) 、今回の投光点は図 7 の C 点ではなく、B 1 点となる。

【 0 1 0 4 】 A L G 2 では、ステップ S 2-2 で点 B 1 に関する P S D 検出出力  $p_{b1}$  を取り込み、カウンタ値  $t$  が

1 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S 2-3)。今度は、 $t = 2$  となっているから、ステップ S 2-3 からステップ S 2-4 へ進み、前回の投光点について得られている P S D 検出出力との差分  $d_p = p_b - p_{b1}$  が計算・記憶される。

【 0 1 0 5 】 点 B B 1 間には投光点を跳躍させるような特徴部分は無いから、続くステップ S 2-5 で N O の判断が出され、ステップ S 2-8 へ進んで A L G 1 のステップ S 1-3 (ピーク信号受信) へピーク検出信号 (NO) を送信する。

【 0 1 0 6 】 一方、A L G 3 でも同様に点 B 1 の P S D 検出出力  $p_{b1}$  を取り込み、カウンタ値  $t'$  について 2 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S 3-3)。今度は  $t' = 2$  となっているが、やはり  $t' > 2$  ではないから、ステップ S 3-7 へ進み、A L G 1 のステップ S 1-3 (ピーク信号受信) へピーク検出信号 (NO) を送信し、カウンタ  $t'$  に 1 加算し (S 3-12) 、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S 3-13, S 3-14) 、ステップ S 3-1 へ戻り、次の投光指令を待つ。

【 0 1 0 7 】 さて、A L G 2, 3 双方からピーク検出信号 (NO) をステップ S 1-3 で受けた A L G 1 では、ステップ S 1-4 からステップ S 1-10 へ進み、位置計算信号 (NO) を出力して A L G 4 のステップ S 4-2 (位置計算信号受信) へ送信する。そして、ステップ S 1-11 でカウンタ  $i$  に緯走査のピッチを表わす指標  $\gamma$  (密走査に対応する  $\gamma = 1$ ) を加算し、 $i$  が上限値  $i_{max}$  を越えていないことを確認した上で (ステップ S 1-13) 、イニシャライズ信号 (NO) を A L G 2 のステップ S 2-9 及び A L G 3 のステップ S 3-9 へ送信する (ステップ S 1-15)。次いで、走査終了信号 (NO) が A L G 2, 3, 4 の各ステップ S 2-13, S 3-13, S 4-7 へ送信される。

【 0 1 0 8 】 A L G 2 では、ステップ S 2-9 でイニシャライズ信号 (NO) を受信した後、ステップ S 2-10 からステップ S 2-12 へ進みカウンタ値  $t$  に 1 を加算した上で、走査終了信号 (NO) の受信を確認し (ステップ S 2-13, S 2-14) 、ステップ S 2-1 へ戻り次回の投光指令の受信を待つ。

【 0 1 0 9 】 A L G 4 のステップ S 4-1 で次回の投光指令が出力された場合の処理サイクルは、投光点が B 2 となり、A L G 3 における処理経路がステップ S 3-1 → S 3-2 → S 3-3 → S 3-4 → S 3-5 → S 3-8 となる点を除けば、前回と同様であるから詳細な説明は省略する。

【 0 1 1 0 】 以下、同様の処理サイクルを繰り返して投光点が B 8 となると、点 B 7 B 8 間の奥行き方向位置が変化し、A L G 3 のステップ S 3-5 で Y E S の判断がなされて、これに続くステップ S 3-6 でピーク信号 (YES) が A L G 1 のステップ S 1-3 へ出力される。これを受けた A L G 1 では、ステップ S 1-4 からステップ S 1-5 へ進む。今度は、 $\gamma = 1$  であるから、ステップ S 1-6 へ進んで  $\gamma$  を疎モードに対応した  $\gamma = 10$  に復帰させ

る。

【0111】次いで、ステップS1-8で初めて位置計算信号(YES)をALG4のステップS4-2へ出力し、以下、ステップS1-11で $i = i + \gamma (= 10)$ として、ステップS1-13を経てステップS1-15へ進み、イニシャライズ信号(NO)をALG2, 3の各ステップS2-9, S3-9を送信する。更に、続くステップS1-21では、走査終了信号(NO)をALG2~4の各ステップS2-13, S3-13, S4-7に出力した上で、ステップS1-1へ戻り、次回の投光指令を待つ。

【0112】イニシャライズ信号(NO)及び走査終了信号(NO)を受けたALG2, 3では、ステップS2-9, S3-9から、ステップS2-10→S2-12→S2-13→S2-14あるいはステップS3-10→S3-12→S3-13→S3-14を経て、ステップS2-1, S3-1へ戻って次回の投光指令を待つ(処理内容は、説明の繰り返しになるので省略)。

【0113】さて、ステップS1-8から初めて位置計算信号(YES)を受けるALG4では、ステップS4-3から初めてステップS4-4へ進み、位置B8に投光されているスポット光ビームGの方向を表わす、縦横カウント値( $i, j$ )に対応した単位ベクトルデータ $\langle g(i, j) \rangle$ とイメージプレーン上の対応点の位置データ $\langle h(i, j) \rangle$ を読み込む。

【0114】そして、更にステップS4-5でB8点に関するPSD6の検出出力p6を取り込み、これらのデータからステップS4-6で点B8の3次元位置を計算・記憶する。3次元位置の求め方は、作用の説明の欄で述べた通りである。続くステップS4-7で走査終了信号(NO)を受信して、ステップS4-8を経てステップS4-1へ戻る。

【0115】ステップS4-1で再び投光指令が出されると、 $\gamma = 10$ の状態でALG1~ALG4の処理が進行する。即ち、投光点はDへ移動し、再度ALG3で2次微分ピークが検出され、 $\gamma$ が再び1に戻されると共に*i*から10が減ざられ、密走査モード開始が準備される。そして、その次の投光指令によって投光点はB8へ戻り、密モード走査が開始される。前回の密走査モードの場合と同様の処理サイクルによって、点C4 C5間に円形凹部4bの内側の縁部が検出され、その3次元位置が求められる。3次元位置を求めるALG4のステップS4-4~S4-6の処理は、*i*の値が異なる以外は前回(B8の3次元位置)の場合と全く同じである。

【0116】点C5の3次元位置の求められると、前回同様の処理手順によって $\gamma$ の値が密走査モードに再度戻される。

【0117】スポット光ビームが円形凹部4bを縦断して再び内側縁部にさしかかると、今度は、投光点の奥行き位置自体が跳躍し(図6の符号70で示した部分を参照)、それに応じて今度はALG2のステップS2-5でYESの判断が出される。すると、領域50, 60の場

合と同様の処理サイクルにより、疎走査モードから密走査モードに切換て繰り返し走査が行なわれ、 $\gamma$ 値に対応した走査経路と縁部4cの交点位置の極く近傍の3次元位置が求められる。この間の処理の詳細は、説明の繰り返しとなるので省略する。

【0118】以上説明したような処理サイクルを繰り返して投光位置がPendに到達すると、ALG1のステップS1-18で初めてYESの判断がなされ、走査終了信号(YES)がALG2, 3, 4の各ステップS2-13, S3-13, S4-7へ送信される。その結果、ALG2, 3では各ステップS2-14, S3-14を経て処理が終了される。

【0119】また、ALG4ではステップS4-8からステップS4-9へ進んで、多数(最低3点)のデータに基づいて円形凹部4bの中心位置・姿勢が計算・記憶され、処理を終了する。

【0120】なお、ここに説明した実施例はあくまで例示であり、各アルゴリズムの内容やCPU処理の割当等は適宜選択して設計し得る事項である。例えば、上記ALG1~4のすべてを主制御装置20のCPUに割当て、プロジェクト制御装置30とPSD検出信号処理装置40の構成を簡素化しても良い。投光ビームの走査経路の形状、投光位置の間隔、粗密走査モードの種類や組合せ方、3次元位置を求める点の選択法や数などについても、スポット光ビームの投光方向を自由に選べるプロジェクトPRの特性を利用して極めて多様な計測のバリエーションが考えられることは説明するまでもない。

【0121】また、プロジェクトPRの偏向制御の方式は、2次元的なランダムスキャンが可能である限り特に制限は無く、例えば、偏向方向の制御をアナログ信号で行なうものであっても良い。

#### 【0122】

【発明の効果】本願発明のスポット光走査型3次元視覚センサは、従来のCCDカメラなどのビデオカメラを用いた3次元視覚センサに比して、処理時間の高速化が可能であり、経済性にも優れている。また、被計測対象物の稜線部、凹部や凸部の縁部など被計測対象物の外形の特徴部分に関する3次元位置データを目的にかなった態様で重点的に収集し、無駄の無い解析を行なうことが出来るから、効率的で精度の高い3次元計測が実現される。

【0123】更に、光源の発する光量を3次元計測に有用な部分に集中させて明るい輝点を形成させた条件下で計測を行うことが出来るから、従来のビデオカメラを用いた3次元視覚センサのように、被計測対象物の全体が適正な明るさとなるように照明条件を整える必要も無くなるという利点もある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】レーザ変位センサの基本的な構成と測定原理を説明する図である。

【図2】本願発明の3次元視覚センサにおける測定原理

に従って3次元計測を行なう為の基本配置を例示した図である。

【図3】被計測対象物の特徴部分(凹部の縁部)をY軸方向に沿ってスポット光ビームで走査した場合のPSDの出力変化を概念的に説明したグラフである。

【図4】本願発明の3次元視覚センサを、円形の凹部を有するワークの円形凹部中心の3次元位置計測に適用した場合の全体配置を表わした図である。

【図5】本願発明の3次元視覚センサのシステム構成の1例を示した要部ブロック図である。

【図6】本実施例における疎密／局所繰り返し走査方式の概要を説明する図である。

【図7】図6中、符号50及び60で示した特徴部分領域の近傍における繰り返し走査経路を拡大表示した図である。

【図8】ALG1(投光位置決定アルゴリズム)に従った処理内容を説明するフローチャートである。

【図9】ALG2(1次微分ピーク検出アルゴリズム)に従った処理内容を説明するフローチャートである。

【図10】ALG3(2次微分ピーク検出アルゴリズム)に従った処理内容を説明するフローチャートである。

【図11】ALG4(3次元位置計算アルゴリズム)に従った処理内容を説明するフローチャートである。

【符号の説明】

- 1 レーザ光源
- 2 X-スキャナ
- 3 Y-スキャナ

4 被計測対象物

4 a スポット光ビームの入射面

4 b 円形凹部

4 c, 4 d 円形凹部の縁部

5 PSDのレンズ(レンズ系)

6 PSD(位置検出型光検出器)

6 a PSD検出面

6 b PSD検出面上の基準位置

7 電流電圧変換回路

8 演算回路

10 8 モニタ光検出器

11 コントローラ

12 光源駆動回路

20 主制御装置

21 中央演算処理装置(CPU)

22 ROMメモリ

23 RAMメモリ

24 キーボード

25 入出力装置(I/O)

26 バス

30 プロジェクタ制御装置

40 PSD検出信号処理装置

G(Gm) スポット光ビーム

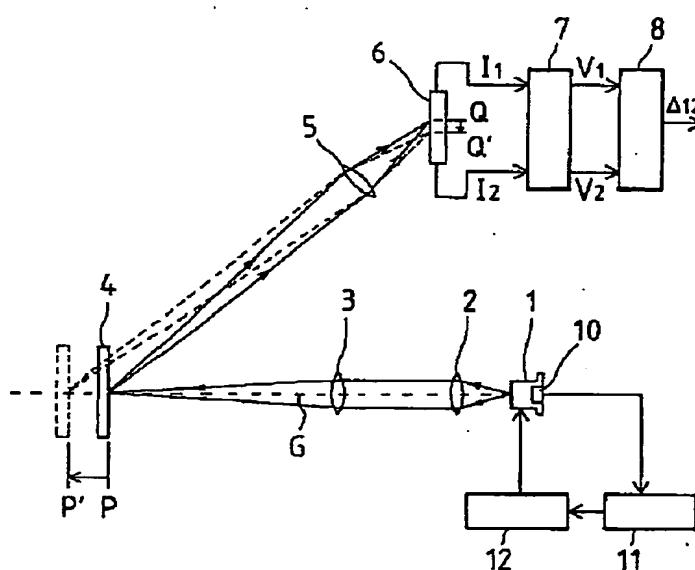
H イメージブレーン

MX X軸方向偏向ミラー

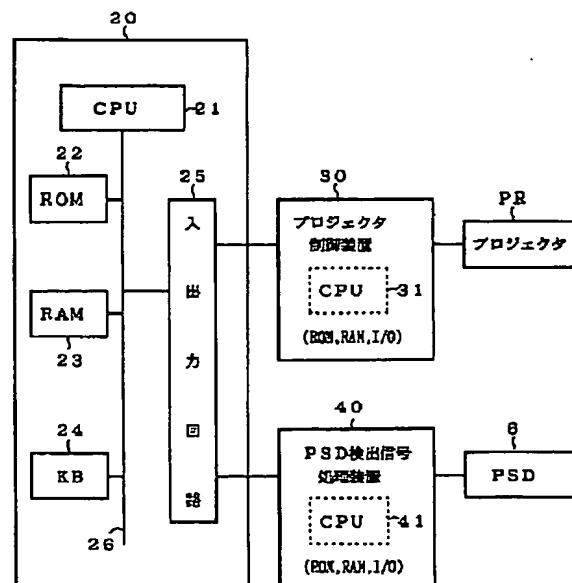
MY Y軸方向偏向ミラー

PR プロジェクタ

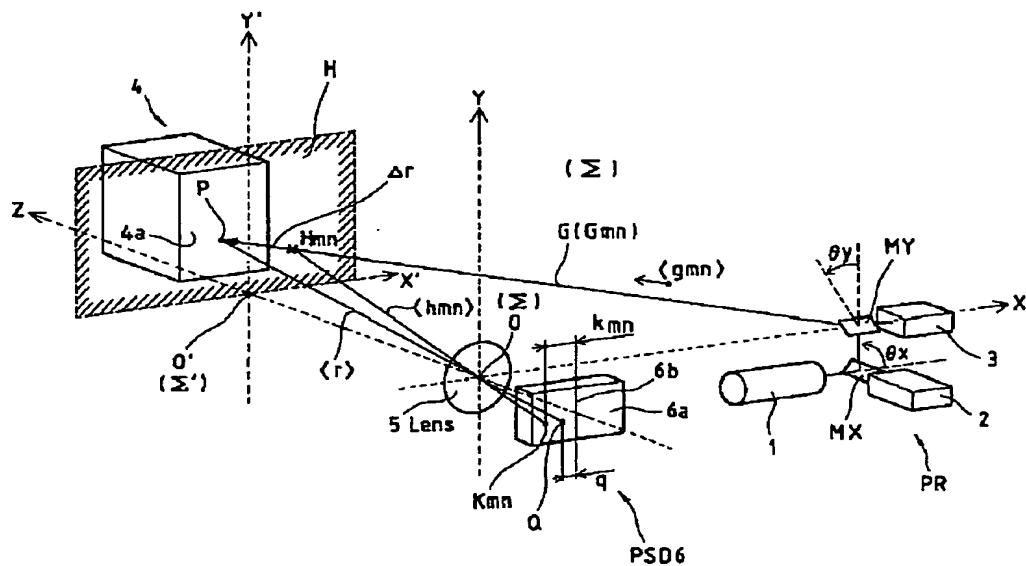
【図1】



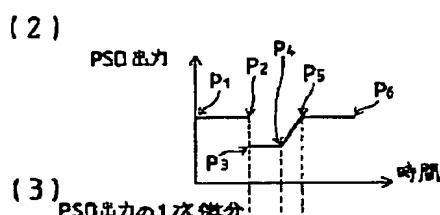
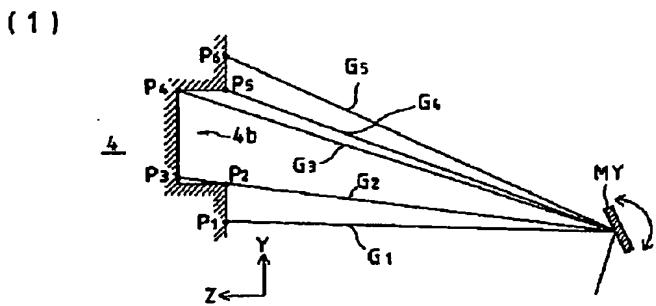
【図5】



【図 2】



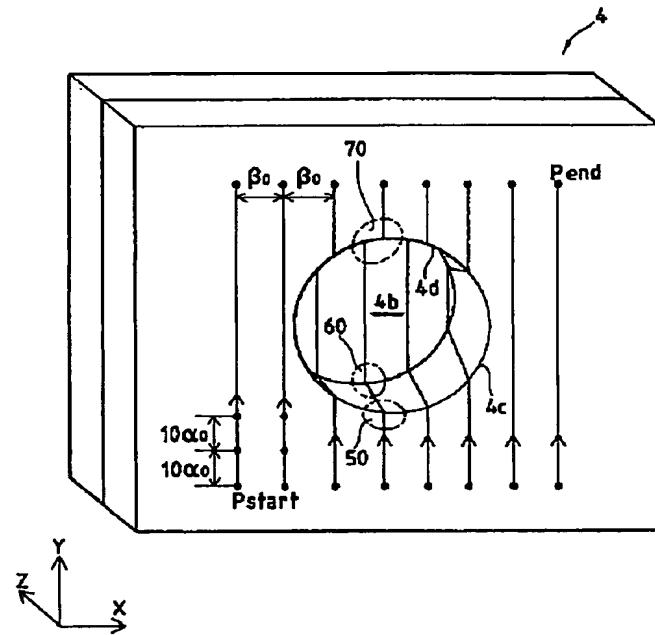
【図 3】



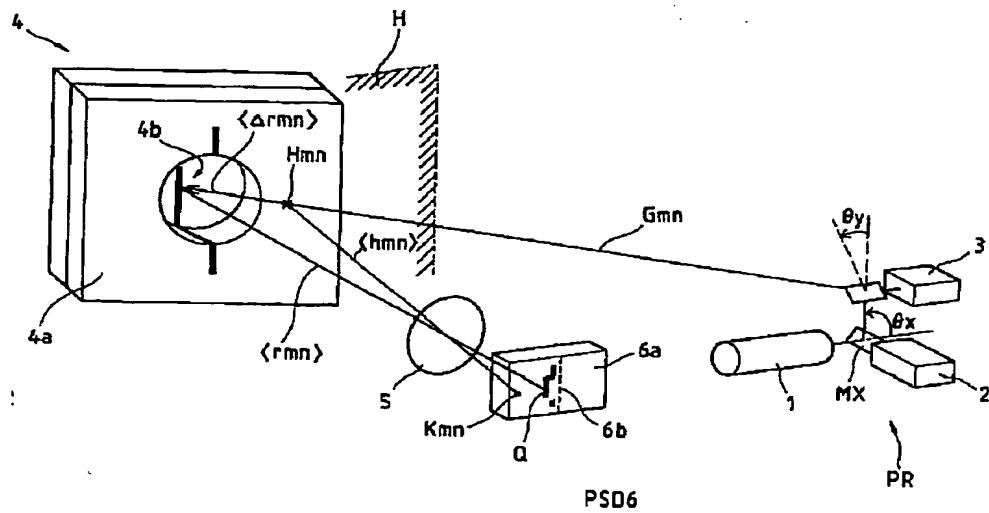
(3) PSD出力の1次微分

(4) PSD出力の2次微分

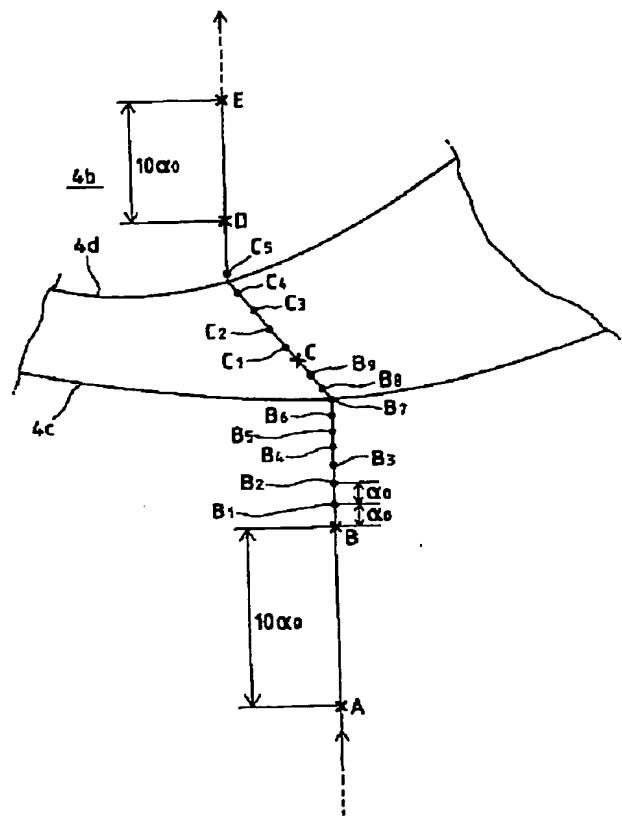
【図 6】



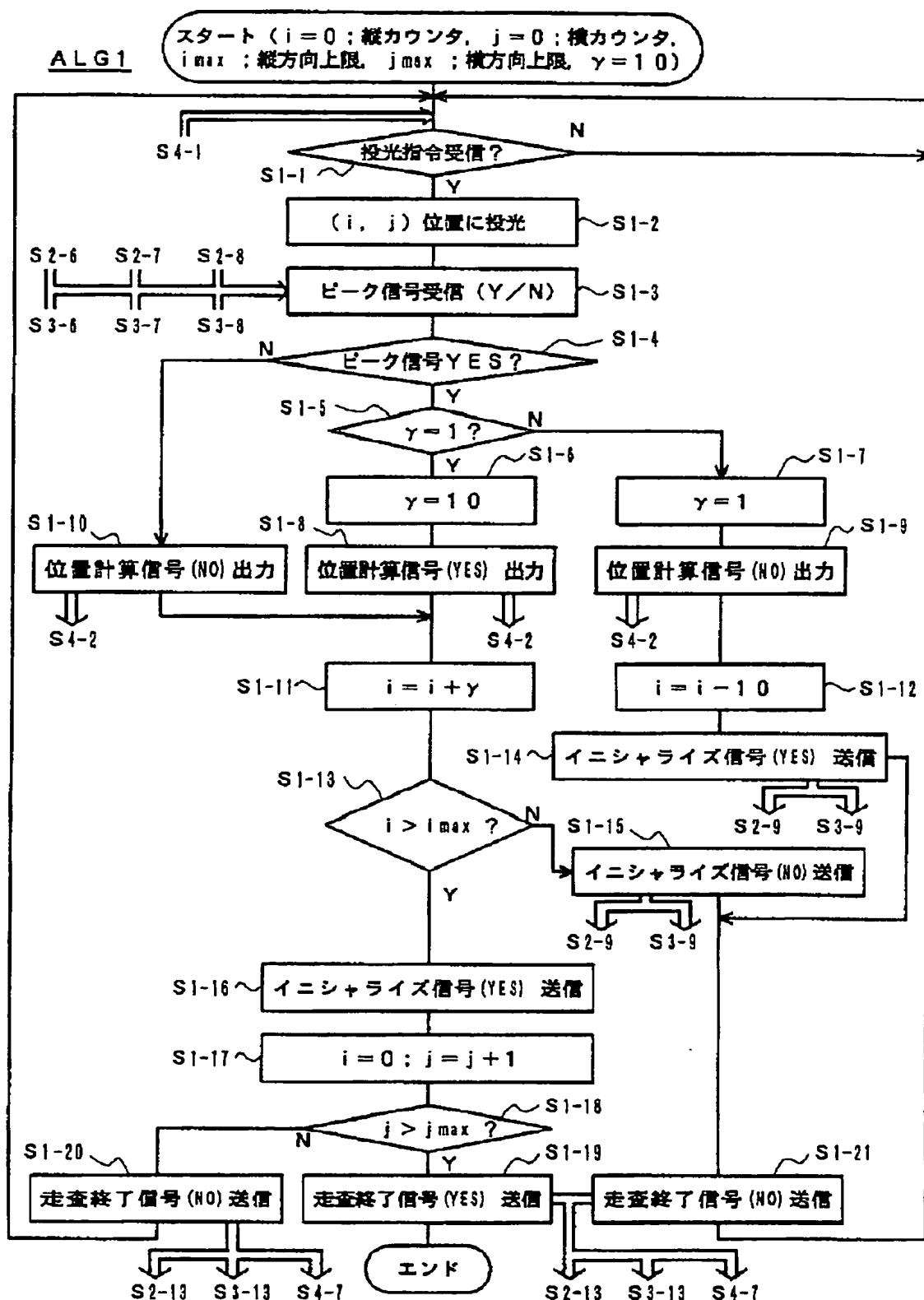
[ 図 4 ]



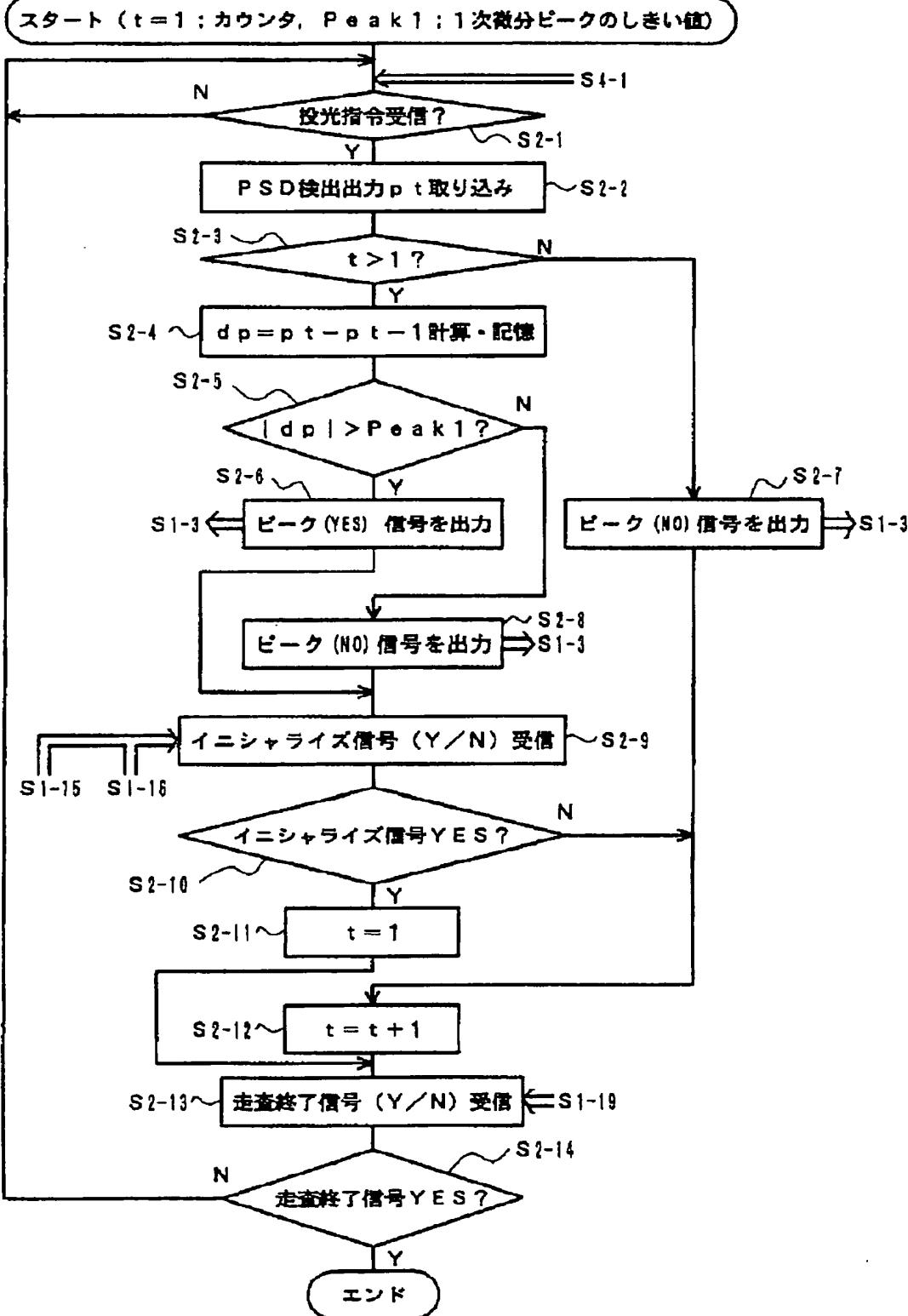
[ 図 7 ]



[ 図 8 ]

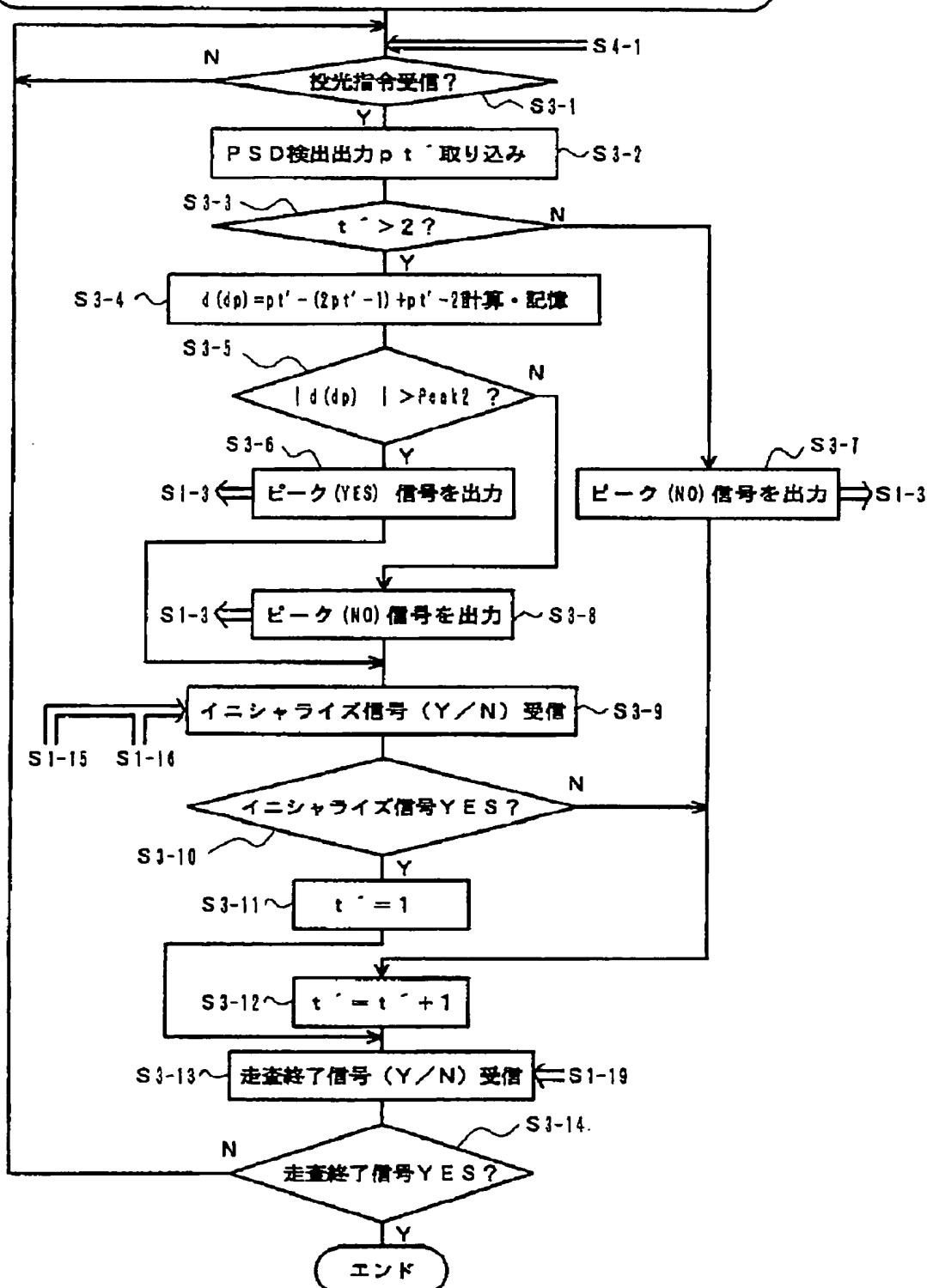


【図 9】

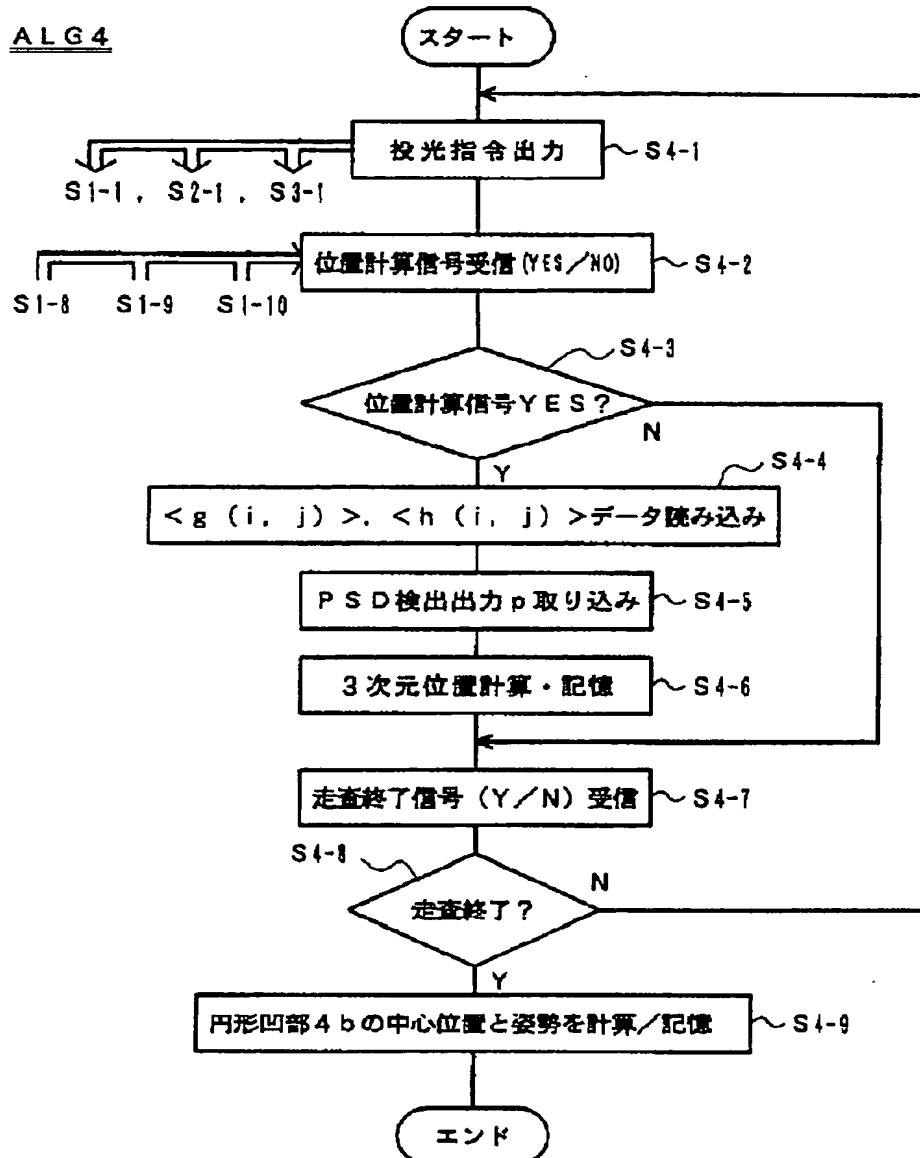
ALG 2

【図 10】

## A L G 3

スタート ( $t^- = 1$  : カウンタ, Peak 2 : 2次微分ピークのしきい値)

[ 図 1 1 ]



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **07-270137**  
 (43)Date of publication of application : **20.10.1995**

---

(51)Int.CI. **G01B 11/24**  
**B25J 19/04**  
**G01B 11/00**  
**G01C 3/06**

---

(21)Application number : **06-312401** (71)Applicant : **FANUC LTD**  
 (22)Date of filing : **24.11.1994** (72)Inventor : **SAKAKIBARA SHINSUKE**  
**YAMADA SHIN**

---

(30)Priority  
 Priority number : **06 36390** Priority date : **10.02.1994** Priority country : **JP**

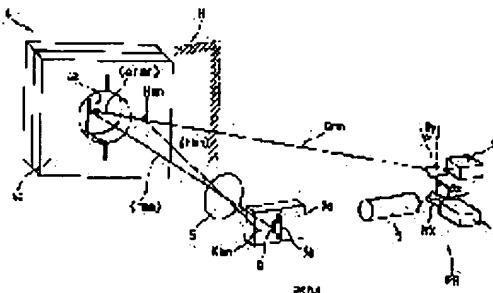
---

## **(54) SPOT LIGHT SCAN TYPE THREE-DIMENSIONAL VISION SENSOR**

### **(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To enable efficient detection, in real time, of a feature part of the outline of a subject such as the rim part of a concave part or a convex part and a ridge line thereof with possible speeding up of processing time and excellent economy.

**CONSTITUTION:** Numeral 1 indicates a laser as a spot light source, 2 and 3 an X scanner and a Y scanner and these compose a projector of a spot light beam. The X scanner 2 and the Y scanner 3 are provided with deflection mirrors MX and MY respectively and a spot light beam G is projected toward the directions corresponding to angles x and y of the deflection thereof. A PSD 6 is arranged at a proper distance from the projector to detect a spot P formed on work 4 as subject through a lens thereof. An output of the PSD 6 and linear/quadratic differential data are obtained making the spot light beam G scan fast continuously. This enables the detection of the rim part of a concave part 4b together with the data indicating the direction of projecting the spot light beam G thereby allowing the acquiring of a three-dimensional position data handily.




---

### **LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

-----  
DETAILED DESCRIPTION  
-----

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] If this invention is said in more detail about the visual sensor used like the assembly operation of the machine part by the robot in the production line which performs automation using a robot or other various FA devices A spot light-scanning beam is projected on a measured object, the luminescent spot formed on the measured object is observed with a 1-dimensional position detection type detector (PSD), and the-like-dimensional [ 3 ] position of a measured object, a posture, a configuration, etc. are measured (it is only hereafter called "3-dimensional measurement"). It is related with the 3-dimensional visual sensor to carry out.

[0002]

[Description of the Prior Art] When building the system which automates various work using an industrial robot and various FA devices, or when attaining intelligent-ization of an intelligent robot, the role which a visual sensor plays is large. Many visual sensors are used for measurement of the position of a work, a posture, a configuration, etc. in automation of the work by the system which contains a robot especially.

[0003] Although the visual sensor which has such a use is divided into the thing for two-dimensional measurement, and the thing for 3-dimensional measurement by the function, when the-like-dimensional [ 3 ] position of a measured object, a posture, a configuration, etc. need to be measured, the latter 3-dimensional visual sensor is used. The conventional 3-dimensional visual sensor is equipped with the means for generally defining the 3-dimensional position of the point on the two-dimensional picture caught with the video camera. Although the thing of various molds is proposed as this means, the many are the things adapting the principle of triangulation, and what projects slit-like light on an object from a predetermined direction, is made to form the light pattern of high brightness rather than the circumference on an object, observes this with a video camera, and performs 3-dimensional measurement of an object especially is typical.

[0004] Such a 3-dimensional visual sensor of a slit light projection method had the problem of it being necessary to form two projectors with which the directions of a slit differ mutually, and the controlling mechanism of those etc., in order to measure the edge portion which extends in the direction parallel to that the optical system for scanning slit light is required when the measurement range tends to become narrow and dispersion is in a measured object's existence position, and the light pattern formed of the set-up slit light.

[0005] Furthermore, in the conventional technology, usually the cylindrical lens (cylindrical lens) was used as a means to generate the slit flux of light, and in order to change the size of the slit flux of light according to the distance between a projector and a measured object, or the size of a measured object, cylindrical lenses had to be exchanged and it was very inconvenient. Moreover, since [ which projects slit light on the measured object of a large size comparatively ] it was placed far away, when the light from a laser light source is extended greatly and the slit flux of light is formed, it is not avoided that the illuminance of the light pattern on which it is projected falls.

[0006] Then, these people have applied for invention concerning the

3-dimensional visual sensor of the method which obtains the 3-dimensional positional information of an object by observing this with a video camera and analyzing the acquired picture using an image processing system, forming the light pattern which replaces with the slit light used conventionally, scans a measured object by the spot beam, and crosses the measured portion of an object, in order to avoid these troubles (Japanese Patent Application No. No. 32407 [ five to ]).

[0007] Since optical projection required for 3-dimensional measurement is performed by the floodlighting equipment which has the means which carries out the high-speed deviation scan of the spot light beam according to this method While becoming possible to form the distance of a measured object, size, the existence direction, a configuration, and the light pattern that was finally adapted for the contents of required 3-dimensional information, precision, etc. free Since it becomes possible to perform observation by the video camera under the conditions in which made the useful portion concentrate the quantity of light which the light source emits on 3-dimensional measurement, and the bright light pattern was made to form, there is the advantage of 3-dimensional measurement excellent in working efficiency and the accuracy of measurement being realized.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, it also sets to any of the 3-dimensional visual sensor of a type or spot light-scanning type conventionally which projects the above-mentioned slit light. After incorporating the light pattern formed on an object as a two-dimensional picture with the camera equipped with the CCD array etc., changing this into a continuous 1-dimensional analog signal, transmitting to the image processing system and performing digital signal-ization with the reconversion to a two-dimensional signal Since the form where store in a frame memory and an image processing is performed is taken, the frame memory which has huge storage capacity is needed.

[0009] Moreover, the limitation had arisen to shorten the whole processing time, though the portion equivalent to the algorithm of the image processing itself is accelerable, since a transfer of a picture, conversion, writing/read-out in memory, etc. take time. Furthermore, that time is taken by memory access in order to process the image data stored in the frame memory about the image processing itself using the general-purpose processor also becomes the factor which gives a limitation to processing speed. And in the usual image processing, since it was performed that perform processing of conversion, a transfer, digitization, etc. to the signal for the whole screen, and the image processing itself processes the data of a full screen by the general-purpose processor etc., although huge processing which even unnecessary data include when acquiring the required 3-dimensional information about an object will be performed and the whole 3-dimensional visual-sensor equipment became expensive, it was inefficient-like.

[0010] There are a thing using the position detection type detector (two-dimensional PSD) which has a two-dimensional position detection function as a position detection type detector which observes the luminescent spot formed of the spot light beam other than the 3-dimensional visual sensor using Above CCD, and a used thing using the polygon mirror as a spot light beam projection means. However, the former is disadvantageous when the whole equipment is constituted cheaply. Moreover, to the latter, the projection direction of a spot light beam cannot be controlled at random two-dimensional, therefore control of choosing the projection direction of a spot light beam freely after being based on the detection output obtained by preceding in the middle of measurement cannot be performed.

[0011] The fundamental purpose of the invention in this application conquers the trouble of such conventional technology, and improvement in the speed of the processing time is possible for it, and it is to offer the 3-dimensional visual sensor excellent also in economical efficiency. Furthermore, the invention in this application plans to offer the 3-dimensional visual sensor which can detect easily the feature portion of the appearance of measured objects, such as the ridgeline section of a measured object, and a crevice, a marginal part of heights, according to an

efficient measurement process.

[0012]

[Means for Solving the Problem] "As the fundamental composition for the invention in this application attaining the above-mentioned purpose The spot light beam projection means which can carry out raster scan control of the projection direction two-dimensional, A 1-dimensional position detection type photodetection means to detect the spot-like luminescent spot formed in the position as for which this spot light beam carried out incidence to the measured object, The 3 spot light-scanning type-dimensional visual sensor equipped with a means to determine the projection direction of the aforementioned spot light beam and the position of the aforementioned spot-like luminescent spot formed on the aforementioned measured object based on the detection output of the aforementioned position detection type photodetection means" is proposed.

[0013] Moreover, it considers as the composition which can detect easily the feature portion of the appearance of measured objects, such as the ridgeline section of a measured object, and a crevice, a marginal part of heights, especially. "The spot light beam projection means which can carry out raster scan control of the projection direction two-dimensional, A 1-dimensional position detection type photodetection means to detect the spot-like luminescent spot formed in the position as for which this spot light beam carried out incidence to the measured object, A means to determine the projection direction of the aforementioned spot light beam, and the position of the aforementioned spot-like luminescent spot formed on the aforementioned measured object based on the detection output of the aforementioned 1-dimensional position detection type photodetection means, The 3 spot light-scanning type-dimensional visual sensor equipped with a means to detect the appearance feature section of a measured object based on change of the detection output of the aforementioned 1-dimensional position detection type photodetection means acquired when changing the projection direction of the aforementioned spot light beam continuously" is proposed collectively.

[0014] Furthermore, in order to make it possible to choose the projection direction of a spot light beam freely after being based on the detection output obtained by preceding in the way of a measurement process, and to increase the efficiency of the whole measurement process more "It is based on the detection output of the aforementioned position detection type detector acquired by preceding in the way of a measurement process. The requirements referred to as having further a means to make the aforementioned raster scan control perform so that the aforementioned spot light beam projection direction after it may be changed" are imposed on each above-mentioned composition.

[0015]

[Function] The 3-dimensional visual sensor of the invention in this application is a position detection type detector (abbreviated name of PSD; Position Sensing Detector.) which has the spot light projection means and the 1-dimensional position detection function in which the floodlighting direction is freely changeable with two-dimensional raster scan control at high speed. Hereafter, this abbreviated name is used. It enables it to perform more efficiently free measurement according to the distance, the size, the configuration, and the 3-dimensional positional information to need of a measured object by constituting a measurement system combining the means equivalent to the used optical displacement sensor.

[0016] The luminescent spot of the shape of a spot formed on the measured object of the spot light projection means is projected on the detection side of PSD. The position (generally center-of-gravity position) of the projected luminescent-spot image is taken out with an easy electric output. Therefore, when changing the floodlighting direction of the spot light beam from a spot light projection means by two-dimensional raster scan control at high speed, it is possible to take out change of the position of a luminescent-spot image as a signal which changes continuously, and to process this in real time.

[0017] Taking advantage of this feature, the appearance feature sections (a crevice, heights, ridgeline section, etc.) of a measured object are

detectable by the real time at high speed based on change (for example, discontinuous change of a detection output level) of the detection output of PSD, changing the floodlighting direction of a spot light beam two-dimensional at high speed. Such a feature cannot be expected as a matter of fact by the conventional method using the CCD array which required the image processing, in order to ask for the position of the luminescent-spot image on a detection side.

[0018] in order to make easy an understanding of the principle of the invention in this application here -- laser -- a variation rate -- the fundamental composition and the measurement principle of a sensor are explained with reference to drawing 1 If this drawing is referred to, a sign 1 is LD (semiconductor laser) as the spot light light source, it will be parallelized by the collimator lens 2, a beam diameter will be further extracted with a condenser lens 3, and the outgoing radiation light will be projected on it as a spot light on the measured object 4. Incidence of this projection spot light figure is carried out as a detection spot image on the detection side of PSD (position detection type light sensitive cell)6 which has a-like 1-dimensional position detection function through a lens 5. If the position of the measured object 4 carries out a variation rate (P->P') along with the optical axis G of an incident light, a detection spot image will also move on PSD (Q->Q').

[0019] PSD6 which has a-like 1-dimensional position detection function responds to the incidence position of spot light, and is two current outputs I1 and I2. It is the basic formula to which it generates and  $I12=(I1-I2)/(I1+I2)$  expresses the incidence position on PSD. It is each current output I1 and I2 at the current-potential conversion circuit 7 Voltage V1 and V2 If it changes and an arithmetic circuit 8 performs operation  $\Delta12=(V1-V2)/(V1+V2)$  The position of the detection spot light on an optical axis G (luminescent spot) can be known, and it can ask for the 3-dimensional position (3-dimensional position of the luminescent spot formed of projection spot light) of the measured object 4 based on it. If the suitable calibration is performed, the position data which make a zero the reference point on an optical axis G will be called for.

[0020] In addition, a sign 10 is the monitor light sensitive cell by which attached equipment was carried out at LD1, in order to carry out the monitor of the output light intensity of LD1, based on the output, the light source drive circuit 12 is controlled through a controller 11, and the output light intensity of LD1 is kept constant.

[0021] Although the above is the fundamental composition and the measurement principle of a laser displacement sensor, the position where spot light is formed here on the thing which can deviation scan the incident beam of LD1, then a measured object moves in three dimensions, and the spot image incidence position on PSD changes two-dimensional according to it. Therefore, it becomes possible to be based on the spot image incidence position detection result to the amount (for example, deflection angle of a deviation mirror) and PSD showing the deviation scanning state of an incident beam, and to ask for the spot light formation position on a measured object. Hereafter, this is explained concretely.

[0022] Drawing 2 illustrates the basic arrangement for performing 3-dimensional measurement according to the above-mentioned principle, and the sign of each element is attached according to drawing 1 . As for one, the laser as the spot light light source, and 2 and 3 are X scanner and Y scanner respectively among drawing, and these constitute the projector PR of a spot light beam. The X scanner 2 and the Y scanner 3 are respectively equipped with the deviation mirrors MX and MY, and are the deflection angle theta x and thetay. Spot light beam G is projected towards the direction to which it responded.

[0023] On the other hand, PSD6 keeps a proper distance from from [ PR ], is arranged, and detects the spot-like luminescent spot (only henceforth the "luminescent spot") P formed on the measured object 4 through the lens 5. Here, it shall set up in parallel with the Z-axis and X shaft orientations as the lens of PSD6 or the optical center of a lens system (only henceforth a lens) 5 was made into Zero O, the system of coordinates sigma which made Z shaft orientations in agreement [ X shaft orientations ] with the optical axis of PSD6 for the direction of laser beam outgoing radiation from laser

1 were defined and the direction of the axis of rotation of the deviation mirrors MX and MY was illustrated.

[0024] Moreover, what has a-like 1-dimensional position detection function as PSD6 shall be used, and the posture shall be set that a detection output is obtained with the function of X shaft-orientations component q of the detecting point Q measured from datum-line position 6b on detection side 6a.

[0025] And the image plane H of detection side 6a of PSD6 about a lens 5 (image formation side with the lens 5 of detection side 6a) defines system-of-coordinates sigma' as zero O' riding on the Z-axis of system of coordinates sigma in accordance with a X'Y' flat surface. PSD6 is arranged so that the field for detection of \*\*\*\*\* 4-ed may come to the neighborhood (range in which the image of the luminescent spot P with a lens 5 does not fade on detection side 6b, generally within the limits of the depth of focus of a lens 5) of this image plane H. The state where the image plane H (X'Y' flat surface) is in the near side of field 4a which counters the projector PR of \*\*\*\*\* 4-ed drawing is drawn.

[0026] The equipment constant and each deflection angle theta x of a projector which include the arrangement position of each deviation mirrors MX and MY etc. when the above relation is assumed to Projector PR, the measured object 4, PSD6 and system of coordinates sigma, and sigma', and thetay The equation of the straight line expressing spot light beam G will be decided, and the position of the luminescent spot P will be given as field 4a of the measured object 4, and an intersection of a straight line G. The position vector of the luminescent spot P on system of coordinates sigma will be expressed with  $\langle r \rangle$ .

[0027] The deflection angle theta x of each deviation mirrors MX and MY, and thetay So that it may be expressed with the following formula (1) and (2) It is the minute angle deltathetax respectively. And deltathetay Considering controlling by the form where consider as a smallest unit and a set value (m, n; however m and n0, or positive integer) is specified, to DISUKURITO The equation with which spot light beam G is expressed according to this set value (m, n) will be decided uniquely, and the intersection position Hmn with the image plane H corresponding to this will also be determined. The position vector of the point Hmn on system of coordinates sigma will be expressed with  $\langle hmn \rangle$ .

[0028]

theta xm=theta x0+m\*deltathetax ... (1) thetayn=thetay0+n\*deltathetay ... (2)

Here, thetax0 and thetay0 are the minimum deflecting angles of each deviation mirrors MX and MY. Considering the set of a set value (m, n) which specifies the deflection angle of each deviation mirrors MX and MY, a set of the intersection position Hmn mostly located in a line in the shape of a grid to this set corresponds by 1 to 1. Therefore, the projection state (Gmn) of spot light beam G can be represented with the intersection position Hmn on this image plane H. The detecting point on detection side 6a corresponding to Intersection Hmn is set to Kmn here. So that it sets q value (deflection with the sign from datum-line 6b) over Kmn to kmn, and I may be understood from the ranging principle of the laser sensor mentioned above, when the vector which goes to P from Point Hmn is expressed with

$\langle \text{deltarmn} \rangle$  If the X coordinate value q of the detecting point Q on detection side 6a corresponding to the luminescent spot P will have a different value from the coordinate value kmn of Point Kmn according to the difference in the position of the point Hmn on a straight line Gmn, and Point P and the amount of differences is set to deltaqmn  $\text{deltaqmn}=q-qmn$  ... (3) It is expressed. And when the difference in the position of the point Hmn on a straight line Gmn and Point P is expressed with the vector  $\langle \text{deltarmn} \rangle$  which goes to P from Point Hmn, it is detection output \*\*\*\*\* of PSD6 which the direction of a vector  $\langle \text{deltarmn} \rangle$  was decided by (m, n) (the direction of a straight line Gmn, and coincidence), and depended for the sense and the size on deltaqmn. If this dependency is expressed with the following formula (4), following (5) will be materialized.

$\langle \text{deltarmn} \rangle = \langle gmn \rangle x_{fmn} (\text{deltaqmn}) \dots (4) \langle r \rangle = \langle hmn \rangle + \langle \text{deltarmn} \rangle = \langle hmn \rangle + \langle gmn \rangle x_{fmn} (\text{deltaqmn}) \dots (5)$  Here,  $\langle gmn \rangle$  is the unit vector which turned to the direction which is in agreement in the direction of a spot light beam.

[0029] Each data which expresses concretely the unit vector  $\langle g_{mn} \rangle$  and Dependency  $f_{mn}$  ( $\Delta g_{mn}$ ) which turned to  $\langle h_{mn} \rangle$  showing the position of Point  $H_{mn}$  and the direction which is in agreement in the direction of a spot light beam can be gained in advance by the design data or the suitable calibration of a visual-sense sensor system.

[0030] Therefore, these data are beforehand prepared for the memory of a 3-dimensional visual sensor about  $m$  and  $n$  which were chosen by all  $m$ ,  $n$ , or suitable serration, and if calculation which reads this if needed and is equivalent to the above-mentioned (5) formula is performed, it can ask for the 3-dimensional position of the luminescent spot  $P$ . In addition, it is also possible to adopt the method which prepares not the data on the basis of the point  $H_{mn}$  on such an image plane  $H$  but the table data which determine the 3-dimensional position of the luminescent spot  $P$  directly from the value of a deflection angle ( $\theta_x$  and  $\theta_y$ ) and the detection output of PSD6, the formula, etc.

[0031] Next, the detection principle of the measured object appearance feature portions (the ridgeline section, a crevice, marginal part of heights, etc.) in the 3-dimensional visual sensor of the invention in this application is explained. Drawing 3 is the feature portion (here) of a measured object. It is what explained notionally the output change of PSD6 at the time of scanning the marginal part of a crevice by the spot light beam in accordance with  $Y$  shaft orientations. (1) expresses transition of the spot light beam incidence position in the circumference of a crevice with the cross section, and (2), (3), and (4) express transition of the detection output of PSD6 in that case, transition of primary differential, and transition of secondary differential respectively.

[0032] In drawing 3 (1), 4 is the crevice where 4b was formed in the depth direction ( $Z$  shaft orientations) in a measured object. The deviation mirror  $MY$  to a spot light beam is  $G1 - G5$  so that this crevice may travel to  $Y$  shaft orientations. The case where it is scanned by the scanning zone is considered. With the case in the physical relationship by which a spot light beam and crevice 4b were illustrated, the deviation direction of a spot light beam is  $G1 \rightarrow G2 \rightarrow G3 \rightarrow G4 \rightarrow G5$ . The spot light-like luminescent-spot position at the time of changing continuously is  $P1 \rightarrow P2 \rightarrow P3 \rightarrow P4 \rightarrow P5$ . It changes.  $P2 \rightarrow P3$  Position change takes place discontinuously.

[0033] Output transition of PSD6 when there is such transition will draw a pattern as shown in drawing 3 (2). That is, the luminescent spot is  $P1 - P2$ . In between, corresponding to there being no change of  $Z$  shaft orientations in the appearance of the measured object 4, a PSD output changes by about 1 constant value. However,  $P2$  Shell  $P3$  A jump of a luminescent-spot position changes a PSD output discontinuously corresponding to this.  $P3 - P4$  there is no change of  $Z$  shaft orientations in an appearance again in between -- corresponding -- a PSD output -- about 1 constant value -- changing --  $P4 - P5$  \*\*\* -- corresponding to a luminescent-spot position changing to  $Z$  shaft orientations continuously, a PSD output also changes continuously And  $P5 - P6$  In between, it goes into the section which does not have change of  $Z$  shaft orientations in the appearance of the measured object 4 again, and a PSD output changes by about 1 constant value.

[0034] Such primary differential and secondary differential of transition of a PSD output serve as a graph which has drawing (3) and a pattern as shown in (4). I hear that a clear peak appears in secondary differential by a clear peak appearing in primary differential in the portion from which the depth direction position of the luminescent spot changes discontinuously in start/end portion of a continuous change of the depth direction position of the luminescent spot, and it is so that these graphs may show.

[0035] Therefore, the-like 3-dimensional feature sections (a marginal part, ridgeline section, etc.) of the measured object 4 are detectable by detecting the peak of the primary differential of the output of PSD6, and secondary differential. The peak detection of primary differential and secondary differential can calculate the "difference" and "the difference of difference" of a PSD output in two or more points which approached, and can perform them by comparing with a suitable threshold (refer to the after-mentioned and an example).

[0036] Although the above is the acquisition principle of the 3-dimensional position data in the 3 spot light-scanning type-dimensional visual sensor of the invention in this application, and the method of detection of the appearance feature portion It is rare to need 3-dimensional position data with all the exact front faces of a measured object in actual measurement. The case where what is necessary is to collect 3-dimensional position data only about the feature portions, such as a marginal part of the concavo-convex section and a ridgeline, and just to perform the position of a measured object, measurement of a posture, a configuration judging, etc. based on it is almost the case. Therefore, as shown in the example described below, while scanning a required portion alternatively according to the measurement purpose taking advantage of the advantage of the spot light beam scan by the projector, it is desirable to take the gestalt which performs a scan denser than other portions especially about an important portion (for example, circumference of a marginal part), and gains 3-dimensional position data.

[0037] By the method which accumulates the image data obtained by the conventional camera means, and analyzes this, since such alternative information acquisition and of-condensation-and-rarefaction control of data collection density can collect 3-dimensional positional information, choosing the projection direction free by the invention in this application to being difficult, it becomes easy alternative information acquisition and to of-condensation-and-rarefaction control [ of data collection density ] them. Moreover, it is also the feature of the invention in this application that it is not necessary to prepare a mass frame memory and a mass highly efficient image processing processor for processing of collected data storage / read-out / operations, and data-processing time is shortened.

<BR> [0038]

[Example] Drawing 4 expresses the overall layout in the example which applied the 3 spot light-scanning type-dimensional visual sensor of the invention in this application to 3-dimensional position measurement of circular crevice center 4c of a work which has circular crevice 4b. The mutual physical relationship about each component of the 3-dimensional visual sensor shown in this drawing and spot light beam Gmn, the luminescent spot P, the corresponding points Hmn on an image plate, the detecting point Q, etc. is fundamentally [ as what was shown in drawing 2 ] the same, and the sign according to them is attached.

[0039] That is, 1 is two, the laser as the spot light light source and 3 are X scanner and Y scanner respectively, and these constitute the projector of a spot light beam. The X scanner 2 and the Y scanner 3 are respectively equipped with the deviation mirrors MX and MY, and are the deflection angle theta x and thetay. Spot light beam G is projected towards the direction to which it responded. PSD6 keeps a proper distance from from, is arranged, and detects the spot P formed on the work 4 which serves as a measured object in this example through the lens 5 on detection side 6a. What has a-like 1-dimensional position detection function as PSD6 is used, and the arrangement posture is set up so that the detection output depending on X shaft-orientations component q of the detecting point Q measured from criteria position 6a may be obtained.

[0040] And system-of-coordinates sigma' is defined as zero O' riding [ the image plane H of detection side 6a of PSD6 about a lens 5 ] on the Z-axis of system of coordinates sigma in accordance with a X'Y' flat surface as well as \*\*\*\* in drawing 2 . A work 4 shall be arranged so that field 4a which has crevice 4b may counter Projector PR, and the image plane H (X'Y' flat surface) shall be in the near side of field 4a. Field 4a shall have the relation which inclined a little to the image plane H.

[0041] Drawing 5 shows one example of the system configuration of the 3-dimensional visual sensor of the invention in this application with an important section block diagram. In addition to the projectors PR and PSD6 shown in drawing 3 , the whole system consists of PSD detecting-signal processors 40 including a main control unit 20, the projector control unit 30 which controls Projector PR, and the processing circuit of the detecting signal of PSD6.

[0042] A main control unit 20 is equipped with the arithmetic and program control (henceforth "CPU") 21 which consists of a microprocessor, and the

ROM memory 22 and RAM memory 23 which have necessary storage capacity, the keyboard 24, and I/O device (I/O) 25 are connected to CPU21 through the bus 26. Moreover, the projector control unit 30 and the PSD detecting-signal processor 40 are similarly equipped with CPUs 31 and 41 which have a necessary throughput, the ROM memory which has necessary storage capacity, the RAM memory, the I/O device (I/O), etc. (the illustration according to individual is omitted).

[0043] A main control unit 20, the projector control unit 30, between PSD detecting-signal processor 40, the projector control unit 30, Projector PR and the PSD detecting-signal processor 40, and PSD6 are connected through each I/O device, and the instructions for the software processing based on the program stored in the memory of each equipment or transfer of data is performed.

[0044] The keyboard 24 of a main control unit 20 can be used in order to input the instructions for performing storage, edit and a transfer of the set point or a program required for each part of a system, or specification, starting, etc. of an executive program through CPU21 of a main control unit 20. Projector PR is the deflection angle theta x of the deviation mirrors MX and MY, and thetay, as stated in relation to the above (1) and (2) formulas. Minute angle deltathetax And deltathetay It shall specify and shall control by serration. For example, the scanning start deflection angle in the above (1) and (2) formulas is set as thetax0=thetay0=90 degree, and it is deltathetax. = deltathetay = 0.1 degrees, then the value of (theta x and thetay) m and n -- 0 or the arbitrary positive integers 1, 2, and 3 -- it is expressed with (90.0 degrees +mx0.1 degrees, 90.0 degrees +nx0.1 degrees) as ...

[0045] a spot light beam scan in this example, assign software processing to a main control unit 20, the projector control unit 30, and the PSD detecting-signal processor 40, and according to the following roughness and fineness / partial repeat scanning modes -- carrying out -- the center position of circular crevice 4b, and a radius -- and -- being suitable (sense of field 4a) -- the process to measure will be described In order to give explanation intelligible, the outline of the roughness and fineness / partial repeat scanning mode in this example is explained first.

[0046] Drawing 6 is drawing having shown the outline of the whole scanning path of spot light beam G in this example. In this drawing, 4b of 4 is the circular crevice in a measured object. Crevice 4b has radial-border section 4c and 4d of ulnar-margin sections. Pstart and Pend It is a luminescent-spot position corresponding to scanning start / end deflection angle of the specified deviation mirrors MX and MY. They are Pstart and Pend to the neighborhood which there is so big no variation in the position of the measured object 4 here, and was illustrated. It is formed, and even if the conditions that circular crevice 4b is settled into the quadrilateral which makes these points the diagonal line change a work 4, they shall not collapse.

[0047] a scan -- the inside of the above-mentioned quadrilateral field -- vertical pitch alpha -- alpha= 10alpha0 and backpitch beta -- beta=beta 0 \*\* -- carrying out -- the scanning position of X shaft orientations -- beta 0 every -- a face -- \*\* -- \*\*\*\*\* -- pitch 10alpha0 of Y shaft orientations every -- the sparse mode scan which repeats making the luminescent spot stop -- vertical pitch alpha -- alpha=alpha 0 The dense mode scan which scans to Y shaft orientations in a pitch should be combined.

[0048] The dense mode is alpha 0 again, after making a scanning position retrace one's steps by one pitch in the sparse mode (10alpha0) near the feature section (change portion which produces position change in the depth direction) of an appearance which was illustrated all over [ 50, 60, and 70 ] drawing. The partial repeat scan which changes the scanning position into Y shaft orientations by serration is performed. Specification of the feature section which should perform the repeat scan by such dense scanning mode is performed by repeating and checking the primary differential and secondary differential of an output of PSD6 during sparse mode scanning execution (see the processing flow chart mentioned [ which is mentioned later and drawing 3 -relation-explains ] later). And at the time of this dense scanning mode, the 3-dimensional position data of the feature section concerned are acquired based on the 3-dimensional position measurement

principle stated in the column of explanation of an operation.

[0049] Drawing 7 carries out expansion \*\*\*\* of the repeat scanning path [ near / which was shown with signs 50 and 60 as one example / the feature subregion ]. when this was explained briefly, after a spot light beam is in a sparse scanning mode state from the lower part in drawing, forming the luminescent spot in A points first and obtaining the output of PSD6 -- pitch alpha= 10alpha0 it is -- it moves to the B point and the output of PSD6 is obtained about the B point Since a marginal part does not exist between AB(s), a spot light beam is a pitch alpha= 10alpha0 again. It moves to C points, the luminescent spot is formed, and the output of PSD6 is obtained about C points.

[0050] Shortly, it is detected by the principle stated in the column of explanation of an operation that marginal part 4c exists between Point B and Point C (here, since there is no big saltation in a luminescent-spot formation position, it is detected at a secondary differential peak). Then, a spot light beam returns to the B point, and is pitch alpha=alpha 0. A dense mode scan is started (partial repeat scan). B7 B8 In between, while marginal part 4c is again detected from primary / secondary differential signals of the output of PSD6, the 3-dimensional position is calculated. Then, it returns to the sparse mode again and a scanning spot light beam is a point B8. Shell 10alpha0 It moves to the point D which separated. However, since 4d of marginal parts exists in B8 D points, the degree of D points is B8 again. It returns to a point and is pitch alpha=alpha 0. It carries out and a dense mode scan is started again. C4 C5 While 4d of marginal parts is detected from primary / secondary differential of the output of PSD6 in between, the 3-dimensional position is calculated. And it returns to sparse scanning mode again, and a spot light beam is a point C5. Shell 10alpha0 It moves to E points which separated.

[0051] a scanning path [ in / a field 50 and the 60 neighborhood / after all ] ... A->B->C->B->B1 ->B-2 ->B3 ->B4 ->B5 ->B6 ->B7 ->B8 ->D->B8 ->B9 ->C->C1 ->C2 ->C3 ->C4 ->C5 ->E -- it becomes ...

[0052] In the above, since the outline of a scan of spot light beam G was explained, the software processing for obtaining the 3-dimensional positional information of circular crevice 4b which the measured object 4 has using the 3-dimensional visual sensor which has hereafter the system configuration shown in drawing 5 is explained.

[0053] The whole software processing performs the following four algorithms ALG1-ALG4, and the processing according to each algorithm is suitably assigned to CPUs 21, 31, and 41. Here, the allocation written in addition in () is adopted. Processing corresponding to each algorithm is performed in the form where it cooperated mutually (specifically after-mentioned).

[0054] ALG1: Floodlighting spotting algorithm (CPU31) = the algorithm for determining the floodlighting position (the deflection angle theta x of the deviation mirrors MX and MY, and thetay) of the spot light beam by Projector PR one by one, and performing a spot light beam scan as explanation was given [ above-mentioned ]. Processing of change control of the non-dense / dense mode scan which gave [ above-mentioned ] explanation, and partial repeat scanning control is included using the following processing result of ALG2 and ALG3.

2:1st ALG differential peak-detection algorithm (CPU41) = the algorithm for checking the amount which is equivalent to the primary differential of the position detection output of PSD6 according to movement of the floodlighting position of a spot light beam, and detecting the peak.

3:2nd ALG differential peak-detection algorithm (CPU41) = the algorithm for checking the amount equivalent to the secondary differential of the position detection output of PSD6 according to movement of the floodlighting position of a spot light beam, and detecting the peak.

4:3-dimensional ALG position computational algorithm (CPU41) = the algorithm for calculating the 3-dimensional position of the marginal part of the circular crevice based on the data which express the floodlighting position at that time (the deflection angle theta x of the deviation mirrors MX and MY, and thetay) as the PSD detection output of the marginal part of the circular crevice detected at the time of the dense scanning mode of the spot light beam by Projector PR. In addition, based on the 3-dimensional position calculation result of the marginal part of each

circular crevice obtained by all scans, the processing which calculates the center position and posture of circular crevice 4b is included here.

[0055] If it hits performing the above algorithms ALG1-ALG4, the next preparation shall be beforehand made to a main control unit 20, the projector control unit 30, and the PSD detecting-signal processor 40.

[0056] [Projector control unit 30]

1. Scanning starting position Pstart shown in drawing 6 Setup of the corresponding scanning start deflection angle (thetax0, thetay0).  
 2. Unit quantity alpha 0 of vertical pitch alpha and backpitch beta And beta 0 Setup of the size of a corresponding deflection angle. alpha 0 Control smallest unit deltathetay of Y shaft-orientations deflection angle Cutting fine, beta is the control smallest unit deltathetax of X shaft-orientations deflection angle. It cuts fine and comes out and is set up respectively. For example, deltathetax = deltathetay = it sets up like alpha0 =0.1 degree and beta= 2.0 degrees as 0.1 degrees. As for the size of these values, it is desirable to set according to the size of a work 4, the measurement precision demanded, measurement time, etc.

3. Setup of register field used as index showing size of lengthwise pitch alpha in sparse scanning mode and dense scanning mode. The register value gamma is gamma=alpha/alpha 0. It carries out. Therefore, at the time of sparse scanning mode, it is gamma= 10 and is set to gamma= 1 here at the time of dense scanning mode. In addition, what is necessary is just to consider as another value corresponding to the of-condensation-and-rarefaction ratio of a request of the value of gamma at the time of sparse scanning mode, in making an of-condensation-and-rarefaction pitch ratio into values other than 10:1.

[0057] 4. Set up in RAM the counter register field (henceforth a "counter") which gives the basic index value showing a floodlighting position (a deflecting angle theta x and thetay). a counter -- the amount alpha 0 of projection impaction efficiencies of Y shaft orientations every -- the lengthwise counter (counted value is expressed with i.) which carries out counting of 1, and the amount beta 0 of projection impaction efficiencies of X shaft orientations every -- the longitudinal direction counter (counted value is expressed with j.) which carries out counting of 1 is set up In sparse scanning mode (alpha= 10alpha0), counting of the counted value i is carried out every [ 10 ] according to movement of a projection position, and counting is carried out every [ 1 ] in dense scanning mode (alpha=alpha 0).

[0058] 5. Upper limits imax and jmax of i and j corresponding to scanning zone shown in drawing 6 Setup. an enumerated data i -- upper limit imax if it reaches -- j<jmax it is -- as long as -- i is reset by i= 0 i=imax j=jmax The state expresses the terminal point Pend of a scanning path ( drawing 6 ).

[0059] 6. Loading of program which performs processing according to ALG1 (floodlighting spotting algorithm) shown in flow chart of drawing 8 .

[0060] [Detecting-signal processor 40]

1. Setup of counter which generates enumerated data t used as index used in order to calculate / check primary differential considerable amount of detection output of PSD6.

[0061] 2. Setup of counter which generates enumerated-data t' used as index used in order to calculate / check secondary differential considerable amount of detection output of PSD6.

[0062] 3. Setup of threshold Peak2 for detecting threshold Peak1 and secondary differential peak for detecting primary differential peak based on detection output value of PSD6 in floodlighting position which gets mixed up.

[0063] 4. Loading of program which performs processing according to ALG2 (primary differential peak-detection algorithm) shown in flow chart of drawing 9 .

[0064] 5. Loading of program which performs processing according to ALG3 (secondary differential peak-detection algorithm) shown in flow chart of drawing 10 .

[Main control unit 20]

1. About the Above-mentioned Deviation Start Angle ThetaX0, ThetaY0, and (I, J) Each Projection Position (I= 0, 1, 2 .... Imax; J= 0, 1, 2 ....

Jmax) Specified The table entry of data showing the 3-dimensional position  $\langle h(i, j) \rangle$  of each corresponding points (a floodlighting spot light beam and an image plain intersection)  $(i, j)$  H on PSD6 stated in the column of explanation of the aforementioned operation image being plain.

The data  $g(i, j) \times$  of a unit vector  $\langle g(i, j) \rangle$  which turned to the direction which is in agreement in the direction of the spot light beam in the state where it was specified by 2.  $(i, j)$ , i.e., XYZ component table data,  $g(i, j) y$ , and  $g(i, j) z$  Input.

The input of the data (table data which consist of a numeric value of positive/negative) showing the sense and length of the vector  $\langle \delta t_{\text{tar}}(i, j) \rangle$  which goes to the probe index P from the detection output of PSD6, and the corresponding points H on an image plate  $(i, j)$  to a work 4 to the bottom of each state specified by 3.  $(i, j)$ .

[0065] 4. Loading of program which performs processing according to ALG4 (3-dimensional position computational algorithm) shown in flow chart of drawing 11 .

[0066] Under the above preparation, processing of the 3-dimensional measurement to a work 4 is started. Hereafter, with reference to drawing 8 - drawing 11 in parallel, it is based in order of operation of a 3 spot light-scanning type-dimensional visual sensor, and the content of processing of each algorithms ALG1-ALG4 is explained.

[0067] First, a main control unit's 20 reception of an external signal (for example, the external signal, illustration ellipsis which tell the arrival to the measurement position of a work 4) starts processing of ALG1-ALG4 almost simultaneous. The established state of each counter at the time of a processing start is as having written in addition all over drawing.

ALG1-ALG3 are step S4 -1 of ALG4 immediately. It goes into the attitude of receiving floodlighting instructions of a shell (Step S 1-1, S2-1, and S3-1).

[0068] Step S4 -1 of ALG4 An output of floodlighting instructions projects a spot light beam in the direction specified by  $(i, j)$  in ALG1 (Step S 1-2). It is projected on a spot light beam in the direction corresponding to the scanning start deflection angle ( $\theta_{\text{tax}0}, \theta_{\text{tay}0}$ ) which is  $i=j=1$  and was set as the projector control unit 30, and the first time is Pstart of drawing 6 . Incidence is carried out to the shown position.

[0069] At ALG2 and ALG3, it is step S2-2 and S3-2. The PSD detection output about the spot light beam probe index at the time (the first time is Pstart) is incorporated. At ALG2, it is pt about this. It will describe and will be described as pt' by ALG3. Subsequently, it is confirmed whether 1 or 2 was exceeded about the counter value t and t' (Step S 2-3 and S3-3).

[0070] Since it is  $t=t'=1$ , the first time is step S2-7 and step S3-7. It progresses. A peak-detection signal (NO) is transmitted to step S1-3 (peak signal reception) of ALG1. After adding to Counter t and t' one time (Step S 2-12, S3-12) and checking reception of a scanning terminate signal (NO), it is (step S2-13, S2-14, S3-13, S3-14) step S2-1. And S3-1 It returns and waits for the next (the 2nd time) floodlighting instructions.

[0071] a peak-detection signal (NO) -- step S1-3 received ALG1 -- step S1-4 from -- it progresses to step S1-10, a position calculation signal (NO) is outputted, and it transmits to step S4 -2 (position calculation signal reception) of ALG4 And the index gamma ( $\gamma = 10$  corresponding to a sparse scan in the first time) which expresses the pitch of a vertical scan with step S1-11 to Counter i is added, and i is a upper limit imax. After checking having not exceeded, they are (Step S1-13) and an initialization signal (NO) Step S2-9 of ALG2 And step S3-9 of ALG3 It transmits (Step S 1-15). This initialization signal (Y/N) is a signal showing \*\*\*\* of resetting the counter value t or t' to 1.

[0072] ALG1 -- transmission of the initialization signal (NO) of step S1-15 -- succeedingly -- a scanning terminate signal (NO) -- each step S2 of ALG 2, 3, and 4 -13, S3-13, and S4 -7 It transmits. For this scanning terminate signal, it sets to drawing 6 and a floodlighting position is Pend. It is a signal showing \*\*\*\* (YES/NO) of having reached.

[0073] Now, it is step S1-10 to the position calculation signal (NO) of ALG1 Step S4 -2 At ALG4 which received, it is step S4 -3. Shell step S4 -7 After progressing and checking reception of the scanning terminate signal (NO) from ALG1 step S1-21, it is step (step S4 -8) S4 -1. It returns and

the next floodlighting instructions are outputted.

[0074] If the 2nd floodlighting instructions are issued, although a spot light beam will be projected in the direction specified by (i, j) in ALG1 (Step S 1-2), since it is i= 11 and j= 1 shortly, a deflection angle is projected on a spot light beam in the direction corresponding to (thetax0+10alpha0 and thetay0) (refer to drawing 6 ).

[0075] At ALG2, it is step S2-2. PSD detection output p2 about a spot light beam probe index (floodlighting following point; of Pstart refer to drawing 6 ) It incorporates and it is confirmed whether 1 was exceeded about the counter value t (Step S 2-3). since it is t= 2 this time -- step S2-3 from -- step S2-4 difference with the PSD detection output which progresses and is obtained about the last floodlighting point -- dp=pt-pt-1 (here p2- p1) is calculated and memorized

[0076] By the principle stated by related explanation of drawing 3 , if there is no feature portion which jumps a floodlighting point between the last floodlighting point and this floodlighting point dp=pt-pt-1 It is step S2-5 which does not show a big value and continues. Judgment of NO is issued, it progresses to step S2-8, and a peak-detection signal (NO) is transmitted to step S1-3 (peak signal reception) of ALG1.

[0077] On the other hand, at ALG3, it is step S3-2. PSD detection output p2' about a spot light beam probe index (floodlighting following point; of Pstart refer to drawing 6 ) is incorporated, and it is confirmed whether 2 was exceeded about counter value t' (Step S 3-3). Although it is t'=2 this time Since it is not t'>2 too, it is step S3-7. Progress and a peak-detection signal (NO) is transmitted to step S1-3 (peak signal reception) of ALG1. After adding to counter t' one time (S3-12) and checking reception of a scanning terminate signal (NO), it is (step S3-13, S3-14) step S3-1. It returns and waits for the next (the 3rd time) floodlighting instructions.

[0078] now, ALG2 and three both sides to a peak-detection signal (NO) -- step S1-3 received ALG1 -- step S1-4 from -- it progresses to step S1-10, a position calculation signal (NO) is outputted, and it transmits to step S4 -2 (position calculation signal reception) of ALG4 And the index gamma (with gamma= 10 corresponding to a sparse scan) which expresses the pitch of a vertical scan with step S1-11 to Counter i is added, and i is a upper limit imax. After checking having not exceeded, they are (Step S1-13) and an initialization signal (NO) Step S2-9 of ALG2 And step S3-9 of ALG3 It transmits (Step S 1-15). subsequently, a scanning terminate signal (NO) -- each step S2 of ALG 2, 3, and 4 -13, S3-13, and S4 -7 It is transmitted.

[0079] When explanation is returned to ALG2, it is step S2-9. After receiving an initialization signal (NO), progressing to step S2-12 from step S2-10 and adding 1 to the counter value t, reception of a scanning terminate signal (NO) is checked (Step S 2-13, 2-14), and it is step S2-1. It returns and waits for reception of next floodlighting instructions.

[0080] Step S4 -1 of ALG4 Since processing of ALG1 and ALG2 when the 3rd floodlighting instructions are outputted is the same as the processing after the 2nd floodlighting instruction output, explanation is omitted.

[0081] At ALG3, it is step S4 - 1 of ALG4. When the 3rd floodlighting instructions are outputted, it is step S3-2. PSD detection output p3 about a spot light beam probe index (next floodlighting following point; of Pstart refer to drawing 6 ) It incorporates and it is confirmed whether 2 was exceeded about counter value t' (Step S 3-3). Since it is t= 3 this time, it is step S3-3. Shall step S3-4 It progresses, it is based on the PSD detection output obtained about the floodlighting point of last time and before last, and is d(dp) =pt'. - (2pt'-1) +pt' - 2 (here p3 -2p2 + p1) is calculated and memorized.

[0082] By the principle stated by related explanation of drawing 3 , if there is no feature portion which jumps a floodlighting point between the last floodlighting point and this floodlighting point It is step S3-5 which this d (dp) does not show a big value and continues. Judgment of NO is then issued and it is step S3-8. A peak-detection signal (NO) is spontaneously transmitted to step S1-3 (peak signal reception) of ALG1.

[0083] this example supposing the example of drawing 6 -- Pstart from -- 10alpha0 since it has separated from the scanning path which moves up in a pitch from crevice 4b -- ALG 2 and 3 -- while the peak detection has not

been performed by it in any, a floodlighting point arrives at the best edge Especially the repeat and bird clapper of a process that gave [ above-mentioned ] explanation of the processing (the 3rd floodlighting instructions or subsequent ones) of ALG1-ALG4 in the meantime will not require explanation.

[0084] step S1-13 of ALG1 in the processing cycle by which the floodlighting instruction output (step S4 -1) to the best edge of a scanning path is started by being -- till then -- \*\*\*\* -- he differs and judgment of YES should do -- first -- step S1-16 -- an initialization signal (YES) -- each step S of ALG 2 and 3 -- 2-9 and step S3-9 It is transmitted. Subsequently, while resetting the vertical counter value i to 0, 1 is added to the horizontal counter value j (Step S 1-17). (here j= 2) [0085] after [ furthermore, ] checking that the horizontal counter value has not reached a upper limit -- (Step S1-18) and a scanning terminate signal (NO) -- each step S2 of ALG2-ALG4 -13, S3-13, and S4 -7 transmitting (Step S 1-20) -- step S1-1 It returns and waits for next floodlighting instructions.

[0086] Step S -- if an initialization signal (YES) is transmitted to step S2-9 of ALG2 for the first time from 1-16 -- ALG2 -- till then -- \*\*\*\* -- differing -- Step S from step S2-10 -- it progresses to 2-11 and progresses to step S2-13 via the processing which resets the counter value t to 1 Subsequently, after checking reception of a scanning terminate signal (NO), it is (step S2-14) step S2-1. Returning and waiting for next floodlighting instructions does not have the process and change which were already explained.

[0087] Step S The processing at the time of an initialization signal (YES) being transmitted to step S3-9 of ALG3 for the first time from 1-16 is the same as that of the case of ALG2. That is, in ALG3, it progresses to step S3-11 from step S3-10, and progresses to step S3-13 via the processing which resets counter value t' to 1. Subsequently, after checking reception of a scanning terminate signal (NO), it is (step S3-14) step S3-1. It will return and will wait for next floodlighting instructions.

[0088] At the range which does not require a floodlighting position for marginal part 4c of circular crevice 4b of a work 4 so that the explanation so far may show, it is step S2-5 of ALG2, and step S3-5 of ALG3. Judgment of YES is not made in any, therefore it is step S1-3 of ALG3. A peak (YES) signal is not outputted. As a result, it is step S1-8 of ALG1. It does not perform and a position calculation signal (YES) is not outputted. The futility which calculates a 3-dimensional position about points other than the unimportant feature portion is excluded by this, and the whole measurement time is shortened.

[0089] Next, drawing 7 is added to a reference view and processing of ALG 1-4 in the marginal part 4c portion of circular crevice 4b of the work 4 with which acquisition of the 3-dimensional position data of a change and repeat scanning control in of-condensation-and-rarefaction scanning mode, and the feature portion is performed is explained.

[0090] Here, A points shown in drawing 7 to a floodlighting position is 10alpha0. It is moved up, floodlighting is performed to the B point, and explanation will be begun from the time of a series of processings which follow it being completed further.

[0091] step S4 -1 of ALG4 Step S1-2 of ALG1 if new floodlighting instructions are outputted, since the state of gamma= 10 is maintained at this time \*\*\*\* -- it is projected on spot light beam G C in drawing 7 At ALG2 and ALG3, it is step S2-2 and S3-2. The PSD detection output about C points is incorporated. It is pc about this. It expresses (it considers as the notation with the same said of other points of drawing 7 hereafter).

[0092] subsequently, whether 1 or 2 was exceeded about the counter value t and t' checks -- having (Step S 2-3 and S3-3) -- it is t> 1 from the physical relationship illustrated here, and t'>2

[0093] therefore -- ALG2 -- step S2-3 from -- step S2-4 PSD detection output pb which progresses and is obtained about the last floodlighting point B difference -- dp=pc-pb It calculates and memorizes.

[0094] A threshold Peak1 is step S2-5, as long as it is set up so that it may detect that the floodlighting point jumped greatly in the depth direction although this value of dp became larger than other non-feature

portions, since marginal part 4c exists between the last floodlighting point B and this floodlighting point C. Judgment of YES is not issued. Then, step S2-5 Future processings are step S2-8 as well as the case of the non-feature portion. A peak-detection signal (NO) is spontaneously transmitted to step S1-3 (peak signal reception) of ALG1.

[0095] On the other hand, at ALG3, it is step S3-3. Shell step S3-4 The PSD detection output pa which progresses and is obtained about the floodlighting point A before last and the last floodlighting point B, and pb PSD detection output pc about the floodlighting point C It is based and is  $d(dp) = pc - 2pb + pa$ . It calculates and memorizes.

[0096] Between the last floodlighting point B and this floodlighting point C, since marginal part 4c exists, this value of dp becomes larger than other non-feature portions. And for the depth direction position of a floodlighting point itself, Peak2 is step S3-5, when a floodlighting point moves ranging over marginal part 4c of drawing 7 , since it was the threshold set up in order to detect that the rate of change of the depth direction position jumped even if it did not change a lot (detection of a secondary differential peak). Judgment serves as YES.

[0097] Therefore, step S3-5 In the case of the non-feature portion, it differs, and future processings are step S3-6. A peak-detection signal (YES) is spontaneously transmitted to step S1-3 (peak signal reception) of ALG1. Then, at ALG1, it is step S1-3. Shell step S1-4 and S1-5 It passes and is step S1-7. It progresses and the value of the vertical pitch index gamma is changed into gamma= 1 which expresses dense scanning mode from gamma= 10 showing sparse scanning mode.

[0098] the following step S1-9 [ and ] a position calculation signal (NO) -- step S4 -2 of ALG4 after transmitting -- vertical counted value i -- 10 -- reducing (Step S 1-12) -- an initialization signal (YES) -- each step S of ALG 2 and 3 -- 2-9 and S3-9 It transmits (Step S 1-14). furthermore -- step S1-21 -- a scanning terminate signal (NO) -- each step S2 of ALG2-ALG4 -13, S3-13, and S4 -7 it transmits -- having -- step S1-1 It returns and waits for next floodlighting instructions.

[0099] each step S of ALG 2 and 3 which received the initialization signal (YES) of step S1-14 -- 2-9 and S3-9 \*\*\*\* -- Step S It progresses to 2-10 and step S3-10 to step S2-11, and step S3-11 respectively. After resetting the counter value t and t' to 1 and checking reception of a scanning terminate signal (NO), it is (step S2-13 ->S2-14, step S3-13 ->S3-14) step S2-1. Or step S3-1 It returns and waits for the next floodlighting instructions.

[0100] this state -- step S4 -1 the reason which vertical counted value i has reduced ten if floodlighting instructions are outputted -- step S1-2 of ALG1 \*\*\*\* -- it is again projected on spot light beam G to the B point in drawing 7 At ALG2 and ALG3, it is step S2-2 and S3-2. PSD detection output pc about the B point It incorporates.

[0101] Subsequently, although it is confirmed whether 1 or 2 was exceeded about the counter value t and t' (Step S 2-3 and S3-3), t and t' is reset by 1 here. Therefore, at ALG2, it is step S2-7. It is a peak signal (NO) spontaneously Step S1-3 of ALG1 After outputting, raising counted value t one time by step S2-12 further and checking reception of a scanning terminate signal (NO), it is (step S2-13, S2-14) step S2-1. It returns and waits for next floodlighting instructions. ALG3 passes through step S3-7 ->S3-12 ->S3-13 ->S3-14 similarly, and it is step S3-1. It returns and waits for next floodlighting instructions.

[0102] In ALG1, further, through processing of step S1-3 ->S1-4 ->S1-10, it progresses to S1-11 and gamma is added to vertical counted value i. Shortly, since it is changed into gamma= 1, corresponding to the pitch of a dense scan, it considers as  $i = i + 1$ .

[0103] step S4 -2 of ALG4 \*\*\*\* -- 1 ALGS1-10 to a peak signal (NO) -- receiving -- step S4-3 ->S4-7 ->S4 -8 pass -- step S4 -1 Returning processing is performed one by one. Subsequently, step S4 -1 If floodlighting instructions are outputted again, although a spot light beam will be projected in the direction specified by (i, j) in ALG1 (Step S 1-2), this floodlighting point is not C points of drawing 7 but B1. It becomes a point.

[0104] At ALG2, it is step S2-2. Point B1 The related PSD detection output

pbl is incorporated, and it is confirmed whether the counter value t exceeded 1 (Step S 2-3). since it is t= 2 this time -- step S2-3 from -- step S2-4 difference with the PSD detection output which progresses and is obtained about the last floodlighting point -- dp=pb-pbl is calculated and memorized

[0105] Point BB1 The feature portion which jumps a floodlighting point in between is step S2-5 which continues since there is nothing. Judgment of NO is issued and it is step S2-8. A peak-detection signal (NO) is spontaneously transmitted to step S1-3 (peak signal reception) of ALG1.

[0106] On the other hand, ALG3 is a point B1 similarly. The PSD detection output pbl is incorporated and it is confirmed whether 2 was exceeded about counter value t' (Step S 3-3). Although it is t'=2 this time Since it is not t'>2 too, it is step S3-7. Progress and a peak-detection signal (NO) is transmitted to step S1-3 (peak signal reception) of ALG1. After adding to counter t' one time (S3-12) and checking reception of a scanning terminate signal (NO), it is (step S3-13, S3-14) step S3-1. It returns and waits for the next floodlighting instructions.

[0107] now, ALG2 and three both sides to a peak-detection signal (NO) -- step S1-3 received ALG1 -- step S1-4 from -- it progresses to step S1-10, a position calculation signal (NO) is outputted, and it transmits to step S4 -2 (position calculation signal reception) of ALG4 And the index gamma (gamma= 1 corresponding to a dense scan) which expresses the pitch of a vertical scan with step S1-11 to Counter i is added, and i is a upper limit imax. After checking having not exceeded, they are (Step S1-13) and an initialization signal (NO) Step S2-9 of ALG2 And step S3-9 of ALG3 It transmits (Step S 1-15). subsequently, a scanning terminate signal (NO) -- each step S2 of ALG 2, 3, and 4 -13, S3-13, and S4 -7 It is transmitted.

[0108] At ALG2, it is step S2-9. After receiving an initialization signal (NO), progressing to step S2-12 from step S2-10 and adding 1 to the counter value t, reception of a scanning terminate signal (NO) is checked (Step S 2-13, 2-14), and it is step S2-1. It returns and waits for reception of next floodlighting instructions.

[0109] Step S4-1 of ALG4 For a processing cycle when next floodlighting instructions are outputted, a floodlighting point is B-2. A processing path [ in / ALG3 / it becomes and ] is step S3-1 ->S3-2 ->S3-3 ->S3-4 ->S3-5 ->S3-8. If the becoming point is removed, since it is the same as that of last time, detailed explanation will be omitted.

[0110] Hereafter, the same processing cycle is repeated and a floodlighting point is B8. When it becomes, it is point B7 B8. The depth direction position of a between changes and it is step S3-5 of ALG3. Step S3-6 which judgment of YES is made and follows this A peak signal (YES) is step S1-3 of ALG1. It is outputted. At ALG1 which received this, it is step S1-4. Shell step S1-5 It progresses. Since it is gamma= 1 shortly, it is step S1-6. gamma is spontaneously returned to gamma= 10 corresponding to the sparse mode.

[0111] step S1-8 [ subsequently, ] for the first time -- a position calculation signal (YES) -- step S4-2 of ALG4 outputting -- the following and Step S -- pass step S1-13 as i=i+gamma (=10) in 1-11 -- step S1-15 -- progressing -- an initialization signal (NO) -- each step S2 of ALG 2 and 3 -9 and S3-9 It transmits. furthermore -- step S1-21 continuing -- a scanning terminate signal (NO) -- ALG 2-4 -- each -- step S2-13 and S3 -13 and S4-7 after outputting -- step S1-1 It returns and waits for next floodlighting instructions.

[0112] In ALG 2 and 3 which received the initialization signal (NO) and the scanning terminate signal (NO) Step S 2-9 and S3-9 Pass a shell, step S2-10 ->S2-12 ->S2-13 ->S2-14, or step S3-10 ->S3-12 ->S3-13 ->S3-14. Step S It returns to 2-1 and S3-1, and waits for next floodlighting instructions (since it becomes the repeat of explanation, the content of processing is omitted).

[0113] step S1-8 [ now, ] from -- ALG4 which receives a position calculation signal (YES) for the first time -- step S4 -3 from -- for the first time -- step S4 -4 progressing -- position B8 The unit vector data  $\langle g (i, j) \rangle$  corresponding to in-every-direction counted value (i, j) and the position data  $\langle h (i, j) \rangle$  of the corresponding points on image plain showing the direction of spot light beam G currently floodlighted are read.

[0114] And it is step S4 - 5 further. B8 The detection output pb6 of PSD6 about a point is incorporated, and it is step S4 - 6 from these data. Point B8 A 3-dimensional position is calculated and memorized. How to ask for a 3-dimensional position is as the column of explanation of an operation having described. Continuing step S4 - 7 A scanning terminate signal (NO) is received and it is step S4 - 8. It passes and returns to step S4 - 1.

[0115] Step S4 - 1 If floodlighting instructions are issued again, processing of ALG1-ALG4 will advance in the state of gamma= 10. That is, it moves to D and a secondary differential peak is again detected by ALG3, 10 reduces a floodlighting point from i while gamma is again returned to 1, and a dense scanning mode start is prepared. And a floodlighting point is B8 by the next floodlighting instructions. It returns and a dense mode scan is started. By the same processing cycle as the case in the last dense scanning mode, it is point C4 C5. The marginal part inside circular crevice 4b is detected in between, and the 3-dimensional position is called for. Step S4 - 4 of ALG4 - S4 - 6 which ask for a 3-dimensional position Processing is completely the same as the case of last time (3-dimensional position of B8), except that the values of i differ.

[0116] Point C5 If a 3-dimensional position is called for, the value of gamma will be again returned to sparse scanning mode by the same procedure last time.

[0117] When a spot light beam travels through circular crevice 4b and puts in the ulnar-margin section again, the depth position of a floodlighting point itself jumps shortly (see the portion shown with the sign 70 of drawing 6 ), and it responds to it, and is step S2-5 of ALG2 shortly. Judgment of YES is issued. Then, a change \*\*\*\*\* scan is performed in dense scanning mode from sparse scanning mode by the same processing cycle as the case of fields 50 and 60, and the 3-dimensional position near the \*\*\*\* of the intersection position of a scanning path and marginal part 4c corresponding to j value is called for. Since it becomes the repeat of explanation, the detail of processing in the meantime is omitted.

[0118] a processing cycle which was explained above -- repeating -- a floodlighting position -- Pend if it reaches, judgment of YES should do for the first time by step S1-18 of ALG1 -- a scanning terminate signal (YES) -- each step S of ALG 2, 3, and 4 -- 2-13, S3-13, and S4 - 7 It is transmitted. consequently -- ALG 2 and 3 -- each step S -- pass 2-14 and S3-14 -- processing is ended

[0119] Moreover, at ALG4, it is step S4 - 8. Shell step S4 - 9 It progresses and is based on data [ a large number (at least three points) ], and the center position and posture of circular crevice 4b are calculated and memorized, and ends processing.

[0120] In addition, the example explained here is instantiation to the last, and the content of each algorithm, allocation of CPU processing, etc. are the matters which choose suitably and can be designed. For example, all the above 1-ALG 4 may be assigned to CPU of a main control unit 20, and the composition of the projector control unit 30 and the PSD detecting-signal processor 40 may be simplified. it be necessary to explain that the variation of very various measurement can be consider using the property of the projector PR which can choose the floodlighting direction of a spot light beam freely about a sorting by selection, number, etc. of points which ask for the kind in the configuration of the scanning path of a floodlighting beam, the interval of a floodlighting position, and of condensation and rarefaction scanning mode, or how to combine and a 3-dimensional position.

[0121] Moreover, as long as a two-dimensional raster scan is possible for the method of deviation control of Projector PR, there is especially no limit, for example, it may control the deviation direction by the analog signal.

[0122]

[Effect of the Invention] As compared with the 3-dimensional visual sensor using video cameras, such as the conventional CCD camera, improvement in the speed of the processing time is possible for the 3 spot light-scanning type-dimensional visual sensor of the invention in this application, and it is excellent also in economical efficiency. Moreover, since it can collect preponderantly in the mode which suited for the purpose of the

3-dimensional position data about the feature portion of the appearance of measured objects, such as the ridgeline section of a measured object, and a crevice, a marginal part of heights, and useless analysis which is not can be performed, it is efficient and 3-dimensional measurement with a high precision is realized.

[0123] Furthermore, since it is measurable under the conditions in which made the useful portion concentrate the quantity of light which the light source emits on 3-dimensional measurement, and the bright luminescent spot was made to form, there is also an advantage that the need of preparing lighting conditions like the 3-dimensional visual sensor using the conventional video camera so that the whole measured object may serve as a proper luminosity is also lost.

---

[Translation done.]